

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>
Dependencia	Aprobado		Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>i(183)</b>	

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	<b>CESAR AUGUSTO BARBOSA JACOME, BARBARA ORTEGA DELGADO</b>		
FACULTAD	<b>INGENIERÍAS</b>		
PLAN DE ESTUDIOS	<b>INGENIERÍA CIVIL</b>		
DIRECTOR	<b>MG. DONAR OVIDIO PALACIO MARTÍNEZ</b>		
TÍTULO DE LA TESIS	<b>USO DE LAS HERRAMIENTAS BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) PARA LA PLANEACIÓN Y CONTROL DE UNA EDIFICACIÓN EN OCAÑA, N. DE S.</b>		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras aproximadamente)			
<p style="text-align: center;">ESTA INVESTIGACIÓN PRETENDE DEMOSTRAR LOS BENEFICIOS QUE CONLLEVA IMPLEMENTAR LA METODOLOGÍA BIM A LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN EN SU CICLO DE VIDA PARTIENDO DE LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y ESTUDIOS RELACIONADOS. POSTERIORMENTE, SE APLICA ESTA METODOLOGÍA EN UN ESTUDIO DE CASO PARA UN EDIFICIO PROYECTADO EN LA REGIÓN. EL ENFOQUE PRINCIPAL ES LA SOLUCIÓN DE INCONSISTENCIAS EN LA PLANEACIÓN, PERMITIENDO REDUCCIONES TANTO EN COSTES COMO EN TIEMPOS, GARANTIZANDO ASÍ EL CONTROL DE OBRA.</p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 183	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 44	CD-ROM: 1



USO DE LAS HERRAMIENTAS BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) PARA  
LA PLANEACIÓN Y CONTROL DE UNA EDIFICACIÓN EN OCAÑA, N. DE S.

AUTORES:

CESAR AUGUSTO BARBOSA JACOME

BARBARA ORTEGA DELGADO

Trabajo de Grado presentado como requisito para Optar por el Título de Ingeniero Civil

Director:

DONAR OVIDIO PALACIO MARTINEZ

MG. Implementación BIM

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA CIVIL

Ocaña, Colombia

Septiembre de 2019

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo a Dios por darme siempre la capacidad de salir adelante. A mis padres, Magola Jacome Jacome y Augusto Barbosa Peña, por haberme formado con buenos principios. Y a la memoria de Jesús Rodrigo Suarez Castro, por impulsarme a alcanzar esta meta.*

***Cesar Augusto Barbosa Jacome***

## **DEDICATORIA**

*Mi proyecto se lo dedico primero a Dios, porque fue quien me dio la sabiduría y el entendimiento para culminar esta profesión.*

*Al mayor orgullo de mi vida, mi padre Jorge Orlando Ortega Claro, por nunca dejarme sola y tomar la batuta de ser un padre y madre para mí, y por ser mi mayor motivación para seguir adelante y lograr este sueño de ser ingeniera civil.*

*A mis hermanos por creer en mí, por regalarme tanta alegría, amor y confianza.*

*A mi novio, por ser apoyo incondicional, motivación, buena energía, cariño y respaldo.*

*A mi familia por su confianza en mí, y su buena energía en toda mi carrera.*

*A mis amigas, por regalarme siempre sus palabras de motivación y apoyo en todo este proceso.*

***Barbara Ortega Delgado***

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a mis padres, Magola Jacome Jacome y Augusto Barbosa Peña, por darme la oportunidad de alcanzar esta profesión.*

*Al ingeniero Donar Palacio, por servirnos de sustento y acompañamiento para elaborar esta investigación.*

*A Darly Barbosa, por haber estado disponible en todo momento para compartirnos su ayuda y conocimiento.*

*A Barbara Ortega, por acompañarme en este proyecto con compromiso y disciplina.*

*Agradezco también a aquellos amigos y familiares que siempre estuvieron pendientes y prestos a ayudar.*

***Cesar Augusto Barbosa Jacome***

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco primeramente a Dios, quien fue el que me guió en todo este proceso.*

*A mi padre, Jorge Orlando Ortega Claro, por apoyarme a culminar esta profesión.*

*Al ingeniero Donar Palacio, por habernos compartido todo su conocimiento.*

*A mi compañero Cesar Barbosa, por su apoyo incondicional y gran amistad.*

*A mi familia y amigos por motivarme y acompañarme en todo el transcurso de mi carrera.*

***Barbara Ortega Delgado***

## Índice

<b>Introducción .....</b>	<b>xv</b>
<b>Capítulo 1. Uso de las herramientas Building Information Modeling (BIM) para la planeación y control de una edificación en Ocaña, N. de S.....</b>	<b>1</b>
1.1. Marco conceptual .....	1
1.2. Marco teórico .....	6
1.2.1 ¿Qué es BIM? .....	6
1.2.2 ¿Qué involucra BIM?.....	8
1.2.3 Diferencia entre las metodologías CAD y BIM.....	25
1.2.4 Casos de estudio relacionados. ....	36
1.3. Marco histórico .....	42
1.3.1 Historia de Autodesk Revit.....	48
1.3.2 Historia de Navisworks.....	49
1.4. Marco legal.....	50
1.4.1 Norteamérica.....	53
1.4.2 Europa.....	54
1.4.3 Asia.....	56
1.4.4 Oceanía.....	57
1.4.5 Latinoamérica.....	58
<b>Capítulo 2. Descripción del caso de estudio y herramientas BIM a utilizar .....</b>	<b>62</b>
2.1 Descripción del proyecto.....	62
2.1.1 Alcance del modelado 3D en BIM del edificio.....	64
2.2 Herramientas BIM para edificaciones.....	64
2.2.1 Autodesk Revit.....	65
2.2.2 Autodesk Navisworks.....	69
2.2.3 Design Review.....	71
<b>Capítulo 3. Desarrollo de la metodología BIM aplicada al caso de estudio.....</b>	<b>74</b>
3.1 Creación del StartUp de AutoCAD.....	74
3.2 Modelado de sistema arquitectónico, estructural y MEP.....	76
3.3 Creación del master de piso, master de sistema y master master.....	79
3.4 Chequeo de interferencias entre los diferentes sistemas .....	84
3.5 Generación de planillas de cómputo de cantidades de obra.....	116
3.5.1 Sistema arquitectónico.....	116

3.5.2	Sistema estructural.....	118
3.5.3	Sistema hidráulico.....	119
3.5.4	Sistema sanitario.....	121
3.6	Documentación y Revisión en Design Review .....	124
<b>Capítulo 4. Análisis de resultados.....</b>		<b>125</b>
4.1	Cuadro comparativo “tiempo de solución de incongruencias de diseño BIM vs CAD” .....	125
4.2	Cuadro comparativo “presupuesto final BIM vs CAD”.....	126
4.3	Análisis de resultados.....	126
4.3.1	Sistema estructural vs arquitectónico.....	127
4.3.2	Sistema estructural vs hidráulico.....	127
4.3.3	Sistema estructural vs sanitario.....	127
4.3.4	Sistema hidráulico vs sanitario.....	127
4.3.5	Sistema hidráulico vs arquitectónico.....	128
4.3.6	Sistema sanitario vs arquitectónico.....	128
<b>Capítulo 5. Conclusiones .....</b>		<b>132</b>
<b>Capítulo 6. Recomendaciones .....</b>		<b>137</b>
<b>Referencias.....</b>		<b>138</b>
<b>Apéndices.....</b>		<b>145</b>

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> Dimensiones de Building Information Modeling .....	17
<b>Tabla 2</b> Guías de implementación BIM alrededor del mundo .....	61
<b>Tabla 3</b> Modelo de Fichas de Interferencias evaluadas .....	87
<b>Tabla 4</b> Ficha de Interferencia No. 1.....	94
<b>Tabla 5</b> Costo y tiempo de solución de interferencia con metodología tradicional.....	95
<b>Tabla 6</b> Costo y tiempo de solución de interferencia con metodología BIM .....	95
<b>Tabla 7</b> Ficha de Interferencia No. 2.....	96
<b>Tabla 8</b> Cuantificación de material con interferencia mediante metodología tradicional .....	97
<b>Tabla 9</b> Cuantificación de material sin interferencia y costo total de material desperdiciado con metodología tradicional .....	97
<b>Tabla 10</b> Costo y tiempo de solución de interferencia con metodología BIM .....	97
<b>Tabla 11</b> Ficha de Interferencia No. 3.....	98
<b>Tabla 12</b> Costo y tiempo de solución de interferencia con metodología BIM .....	99
<b>Tabla 13</b> Ficha de Interferencia No. 4.....	100
<b>Tabla 14</b> Cuantificación de interferencia con puertas, costo y tiempo de solución con metodología tradicional .....	101
<b>Tabla 15</b> Cuantificación de interferencia con ventanas, costo y tiempo de solución total con metodología tradicional .....	101
<b>Tabla 16</b> Costo y tiempo de solución de interferencia con metodología BIM .....	101
<b>Tabla 17</b> Ficha de Interferencia No. 5.....	102
<b>Tabla 18</b> Cuantificación de costo de materiales para solución de interferencia con metodología tradicional .....	103
<b>Tabla 19</b> Cuantificación costos por mano de obra, costos totales y tiempos de solución empleando metodología tradicional.....	103
<b>Tabla 20</b> Costo y tiempo de solución de interferencia con metodología BIM .....	103
<b>Tabla 21</b> Ficha de Interferencia No. 6.....	104
<b>Tabla 22</b> Cuantificación de costos por unitarios de solución de interferencia con metodología tradicional .....	105
<b>Tabla 23</b> Cuantificación costos por mano de obra, costos totales y tiempos de solución empleando metodología tradicional.....	105
<b>Tabla 24</b> Cuantificación de mano de obra y tiempo de solución de interferencia con metodología BIM.....	105
<b>Tabla 25</b> Ficha de Interferencia No. 7.....	106
<b>Tabla 26</b> Cuantificación costos por mano de obra y tiempo de solución de interferencia empleando metodología tradicional.....	107
<b>Tabla 27</b> Costo y tiempo de solución de interferencia empleando metodología BIM.....	107
<b>Tabla 28</b> Ficha de Interferencia No. 8.....	108
<b>Tabla 29</b> Cuantificación costos por unitarios para solución de interferencia empleando metodología tradicional .....	109

<b>Tabla 30</b> Cuantificación por mano de obra, costos totales y tiempo de solución empleando metodología tradicional .....	109
<b>Tabla 31</b> Costo y tiempo de solución de interferencia empleando metodología BIM.....	109
<b>Tabla 32</b> Ficha de Interferencia No. 9.....	110
<b>Tabla 33</b> Cuantificación costos por unitarios para solución de interferencia empleando metodología tradicional .....	111
<b>Tabla 34</b> Cuantificación costos por mano de obra, costos totales y tiempo de solución de interferencia empleando metodología tradicional.....	111
<b>Tabla 35</b> Costo y tiempo de solución de interferencia empleando metodología BIM.....	111
<b>Tabla 36</b> Ficha de Interferencia No. 10.....	112
<b>Tabla 37</b> Costo y tiempo de solución de interferencia con metodología tradicional.....	113
<b>Tabla 38</b> Costo y tiempo de solución de interferencia mediante metodología BIM.....	113
<b>Tabla 39</b> Ficha de Interferencia No. 11.....	114
<b>Tabla 40</b> Cuantificación costos por unitarios para solución de interferencia empleando metodología tradicional .....	115
<b>Tabla 41</b> Cuantificación costos por mano de obra, costos totales y tiempos de solución de interferencia empleando metodología tradicional.....	115
<b>Tabla 42</b> Costo y tiempo de solución de interferencia empleando metodología BIM.....	115
<b>Tabla 43</b> Planilla de cómputo de cantidades de barandas .....	116
<b>Tabla 44</b> Planilla de cómputo de cantidades de muro.....	116
<b>Tabla 45</b> Planilla de cómputo para pisos .....	117
<b>Tabla 46</b> Planilla de cómputo para puertas .....	117
<b>Tabla 47</b> Planilla de cómputo para ventanas.....	118
<b>Tabla 48</b> Planillas de cómputo para el concreto del sistema estructural.....	119
<b>Tabla 49</b> Planilla de cómputo para tubería hidráulica.....	119
<b>Tabla 50</b> Planilla de cómputo para cantidades de accesorios hidráulicos.....	120
<b>Tabla 51</b> Planillas de cómputo para aparatos hidráulicos .....	121
<b>Tabla 52</b> Planilla de cómputo para tubería sanitaria .....	121
<b>Tabla 53</b> Planilla de cómputo para cantidades de accesorios sanitarios .....	122
<b>Tabla 54</b> Planillas de cómputo para aparatos hidráulicos .....	123
<b>Tabla 55</b> Tiempo total de solución de incongruencias Metodología BIM vs CAD.....	125
<b>Tabla 56</b> Presupuesto final de solución de incongruencias Metodología BIM vs CAD.....	126

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Ciclo de vida de la edificación. ....	8
<b>Figura 2.</b> Modelo de madurez BIM de BewRichards. ....	13
<b>Figura 3.</b> Dimensiones de aplicación BIM. ....	15
<b>Figura 4.</b> Niveles de Detalle BIM. ....	20
<b>Figura 5.</b> Niveles de desarrollo BIM (LOD). ....	22
<b>Figura 6.</b> Esquema grafico de niveles de desarrollo LOD 300 y 350. ....	23
<b>Figura 7.</b> Relación Dimensiones BIM con Nivel de Desarrollo LoD. ....	25
<b>Figura 8.</b> Relaciones de información entre los participantes de los proyectos de construcción. .	28
<b>Figura 9.</b> Flujo de Trabajo tradicional vs Metodología BIM. Curva de Mac Leamy. ....	29
<b>Figura 10.</b> Modelo BIM 3D integrado del proyecto Universidad del Pacífico. ....	38
<b>Figura 11.</b> Modelo arquitectónico de Revit del edificio “Ópalo”. ....	40
<b>Figura 12.</b> Perspectivas render de las fachadas de la vivienda. ....	41
<b>Figura 13.</b> Visión de adopción de BIM en el mundo. ....	50
<b>Figura 14.</b> Acogida del BIM en Latinoamérica. ....	58
<b>Figura 15.</b> Modelado de Edificio Puerta de Hierro. ....	62
<b>Figura 16.</b> Plano CAD arquitectónico del P03-P06. ....	74
<b>Figura 17.</b> Plano CAD estructural del P03-P06. ....	75
<b>Figura 18.</b> Plano CAD hidráulico del P03-P06. ....	75
<b>Figura 19.</b> Plano CAD sanitario del P03-P06. ....	76
<b>Figura 20.</b> Detalle LOD 350 de apartamento Tipo. ....	77
<b>Figura 21.</b> Fachada este Edificio Puerta de Hierro. ....	78
<b>Figura 22.</b> Fachada sur Edificio Puerta de Hierro. ....	79
<b>Figura 23.</b> Máster de piso del P01. ....	79
<b>Figura 24.</b> Máster de piso del P02. ....	80
<b>Figura 25.</b> Máster de piso del P03 al P06. ....	80
<b>Figura 26.</b> Máster de piso del P07. ....	81
<b>Figura 27.</b> Máster de sistema arquitectónico. ....	81
<b>Figura 28.</b> Máster de sistema estructural. ....	82
<b>Figura 29.</b> Máster de sistema hidráulico. ....	82
<b>Figura 30.</b> Máster de sistema sanitario. ....	83
<b>Figura 31.</b> Máster máster. ....	84
<b>Figura 32.</b> Reporte de colisiones por parejas de sistemas. ....	86
<b>Figura 33.</b> Interferencia No. 1. ....	88
<b>Figura 34.</b> Interferencia No. 2. ....	89
<b>Figura 35.</b> Interferencia No. 3. ....	89
<b>Figura 36.</b> Interferencia No. 4. ....	90
<b>Figura 37.</b> Interferencia No. 5. ....	90
<b>Figura 38.</b> Interferencia No. 6. ....	91
<b>Figura 39.</b> Interferencia No. 7. ....	91
<b>Figura 40.</b> Interferencia No. 8. ....	92

<b>Figura 41.</b> Interferencia No. 9.....	92
<b>Figura 42.</b> Interferencia No. 10.....	93
<b>Figura 43.</b> Interferencia No. 11.....	93
<b>Figura 44.</b> Revisión en Design Review de plano arquitectónico del P07.....	124

## Introducción

Los errores en la planeación de los proyectos de construcción conducen a cambios en la ejecución que generan sobrecostos y retrasos en la programación de obra. Se hace necesario entonces, implementar metodologías que den solución a estos inconvenientes antes de iniciar la construcción. (Mojica & Valencia, 2012) lo exponen así:

Los proyectos de construcción en el medio colombiano comúnmente se encuentran sujetos a múltiples errores, incompatibilidades e incongruencias en las fases de diseño. Esto acarrea problemas en los procesos constructivos generando sobrecostos, correcciones de errores sobre la marcha, menor calidad de construcción y retrasos en los cronogramas, factores que conjuntamente hacen de la construcción una industria poco competitiva en el país. Los métodos tradicionales de construcción basados en planos 2D, programaciones de obra escuetas y poco detalladas que se complementan en algunos casos con presupuestos desfasados de la realidad, se tornan en herramientas inadecuadas para la planeación y ejecución de proyectos de Ingeniería Civil teniendo en cuenta que desde hace más de una década están disponibles las metodologías de trabajo BIM (Building Information Modeling) (p.13)

La construcción, como técnica de fabricar edificios e infraestructuras, ha sufrido cambios significativos a lo largo de la historia. Los procesos abarcados en la construcción no son sencillos, pues son el compendio de diversas ramas y disciplinas que deben trabajar en conjunto para alcanzar obras de calidad, en función de sus objetivos.

Al ser un proceso complejo, se ha hecho necesario implementar formas de trabajo que faciliten la coordinación de estas disciplinas. Las bases para el desarrollo de proyectos de construcción se dieron con la posibilidad de plasmar en papel, a través de dibujos hechos a mano, los modelos de diseño con los que fuera posible hacer seguimiento a un bosquejo cercano al resultado que se debería obtener una vez ejecutadas las obras. Sin embargo, con las evoluciones tecnológicas ocurridas a mediados del siglo XX, fue posible implementar la misma metodología de dibujo, pero desarrollada con computadoras, lo que facilitaba los procesos del recurso humano, la visualización y la precisión de dimensiones y medidas en los planos.

Aunque el dibujo asistido por computadora facilitaba el desarrollo de proyectos de construcción seguía presentando complejidad, pues no se contaba con herramientas eficientes que permitieran coordinar todas las disciplinas involucradas. En tal medida, se hacía difícil evitar problemas en la ejecución de las obras debidos a la dificultad de agrupar los planos y visualizarlos como un modelo único. El Building Information Modelling (BIM) surge entonces como la mayor revolución de la ingeniería y la arquitectura en la historia. Según (Piruat, 2016), la metodología BIM “permite reducciones significativas de los errores de diseño que pueden conducir a re-trabajos, accidentes en construcción o fallos del proyecto.” [13] (p. 17). Lo anterior debido a que permite la sincronización y comunicación de todas las disciplinas involucradas en un proyecto, visualizando mediante modelos paramétricos los edificios tal y cómo se verían en obra.

El desarrollo de esta investigación agrupa conceptos referentes a la planeación de obras mediante la implementación BIM, metodología de trabajo innovadora a la que se han estado volcando los principales mercados de la construcción. Se especifica, además, la repercusión de esta implementación mediante la recopilación de estudios ya desarrollados, así como de la aplicación BIM a un estudio de caso para extraer conclusiones propias. En la exposición del estudio de caso, se evalúa la reducción de sobrecostos y retrasos realizando un análisis comparativo de las interferencias que pudieran presentarse durante la construcción de la edificación en estudio, frente a las soluciones que se darían implementando BIM.

Como explican (Cerón & Liévano, 2017) “El tema ha sido objeto de estudio por varias universidades y en sus desarrollos de investigación han trabajado en la implementación de la metodología BIM, sin embargo la implementación ha sido muy lenta” (p. 22). Por lo tanto los resultados del caso de estudio tienen como finalidad incentivar a la comunidad AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción) con base en cifras, para que indaguen e implementen en sus proyectos la metodología BIM.

Tal como indica (D'amato, 2010) la presente monografía se enmarca dentro de la investigación de nuevos métodos para la gestión de la construcción, con la finalidad de agilizar y

perfeccionar métodos del diseño de edificaciones, reduciendo costos administrativos y errores de diseño.

Por medio de la práctica, se busca explorar e implementar diferentes programas de esta metodología que abarcan dentro de sus procesos áreas de la ingeniería civil, extrayendo datos e información comparativos con los obtenidos en los procesos de planeación tradicional y con los recopilados por la implementación de la metodología BIM que otros autores han desarrollado. Los programas a emplear para el estudio de caso son: Autodesk Revit, Navisworks y Design Review.

El alcance de este proyecto se enfoca a desarrollar comparativos a partir de la investigación y ejecución de la metodología BIM y la metodología CAD (Computer-Aided Design), determinando la repercusión de implementar esta nueva metodología en lugar de los procesos ya establecidos en la planeación de la obra.

En lo referente a BIM, (Franco, 2018) sostiene que “mientras CAD permite el diseño en 2D o 3D sin distinguir sus elementos, este sistema de datos incorpora el 4D (tiempo) y 5D (costos), permitiendo gestionar la información de manera inteligente durante todo el ciclo de vida de un proyecto”. Debe mencionarse que las anteriores no son las únicas dimensiones que se pueden trabajar con la metodología BIM, existe el 6D y el 7D de las cuales no se cuenta con mucha claridad respecto al enfoque de las mismas, tal y como indica (Montagud, 2018) “en cuanto a las dimensiones sexta y séptima la discrepancia ocurre en que no saben ponerse de acuerdo entre si se refieren a Sostenibilidad, Seguridad o Gestión de las instalaciones” (p. 50). Es así como para la realización de este trabajo se enfoca en las dimensiones 3D, 4D y 5D.

El área de estudio de la presente monografía es BIM, ya que proporciona una forma de trabajo con datos sincronizados en tiempo real. Según indican (Sierra, Alvarez, & Henao, 2015), respecto a la metodología BIM, “esta metodología es tal vez la más eficiente en la actualidad para analizar diversos factores de manera simultánea y así lograr el funcionamiento de diversos procesos constructivos de manera sincronizada”. (p. 9)

Las fuentes consultadas abarcan distintos trabajos de pregrado y especialización, desarrollados con el fin de demostrar los beneficios de aplicar la metodología BIM. Algunas de estas investigaciones empleadas como apoyo han sido desarrolladas por ingenieros y arquitectos como los ingenieros Paul Vladimir Alcántara Rojas y Manuel Fernando Salazar Alzate, los cuales desarrollaron estudios de caso con enfoques similares al planteado en la presente investigación. Así mismo, se extraerá información de los sitios web oficiales de las compañías desarrolladoras de softwares BIM como el gigante Autodesk, y de guías internacionales. Se hará también mención de las diferentes normas reglamentarias y planes de implementación que se han desarrollado en diferentes países desde el surgimiento del BIM.

# Capítulo 1. Uso de las herramientas Building Information Modeling (BIM) para la planeación y control de una edificación en Ocaña, N. de S.

## 1.1. Marco conceptual

**AEC (Architectural, Engineering and Construction):** Siglas en inglés para hacer alusión a todos los agentes del sector arquitectura, ingeniería y construcción.

**BEP (BIM Execution plan):** Son las siglas en inglés de plan de ejecución BIM, un documento que contiene toda la información del proyecto en donde se detalla bajo qué normas y procedimientos se realizará la implantación BIM del mismo.

**BIM (Building information modeling):** Metodología de trabajo que emplea un modelo de datos único para la mejora de la gestión de proyectos de construcción. Este modelo 3D es sencillo de visualizar y facilita la cooperación entre las distintas disciplinas involucradas en el ciclo de vida del edificio puesto que se sirve de los avances tecnológicos.

**BIM Cordinator:** Profesional responsable de coordinar y supervisar todo lo referente a una disciplina específica, sea, por ejemplo, arquitectura, estructuras, instalaciones hidráulicas, etc. Sus funciones son, además, cumplir con los estándares de calidad y garantizar la compatibilidad con el resto de disciplinas. Por tal razón existen tantos coordinadores BIM como disciplinas haya en el proyecto.

**BIM Manager:** Profesional especializado en metodología BIM cuya función principal es la gestión del proyecto de construcción de principio a fin. Es el líder encargado de establecer el BIM Execution Plan, crear los grupos trabajo colaborativo, coordinar los equipos y disciplinas del proyecto asegurando la calidad e interoperabilidad.

**BIM Modeler:** Profesional capacitado en el modelado de los elementos y sistemas constituyentes del edificio usando software especializado. La modelación debe ir guiada acorde al BIM Execution Plan y el proceso constructivo. “Se modela a como se construye”.

**BuildingSMART;** Organización internacional que reúne a diferentes agentes del sector construcción tales como propietarios y profesionales para mejorar los procesos a través de estándares de interoperabilidad abiertos BIM.

**CAD (Computer-Aided Design)** Son las siglas en inglés de diseño asistido por computadora. Referido a las herramientas tradicionales para la elaboración de planos a través del computador siendo éstas exclusivamente de tipo geométrico.

**Ciente:** Es la persona o empresa que costea el proyecto. Siguiendo la línea colaborativa de la filosofía BIM, el cliente es considerado un rol BIM porque es una fuente valiosa de sugerencias y cambios, los cuales pueden ser plasmados a manera de comentarios y en tiempo real.

**Detección de colisiones:** Proceso mediante el cual se ubican las interferencias entre los distintos sistemas y/o disciplinas que abarcan el proyecto.

**DWF/DWfx:** Formato de archivo de intercambio de dibujo que facilita la interoperabilidad entre diferentes programas.

**Entregables:** Son todos aquellos documentos que se elaboran con la finalidad principalmente de medir y/o reportar los avances de obra o de alguna actividad que se esté desarrollando.

**Facility management:** Es una disciplina que se encarga de la gestión entre los inmuebles y sus servicios, teniendo en cuenta funcionamiento, la optimización de los costes y la coordinación entre personas, espacios, y tecnologías.

**Familias.** Son archivos de extensión RFA propios de Autodesk Revit. Constituyen los elementos básicos para la creación del modelo del edificio. Estos elementos cuentan con características y propiedades similares fácilmente adaptables a los requerimientos del proyecto puesto que, al tener parámetros incorporados, pueden ajustarse apropiadamente. Además se pueden modelar familias nuevas tal como es el caso de la empresa PAVCO que cuenta con su propio catálogo de tuberías y accesorios.

**Flujo de trabajo:** Se refiere al método utilizado para desarrollar los procesos colaborativos dentro de la empresa. Siempre procurando elegir la ruta más viable que mantenga la calidad del producto con el menor esfuerzo y pérdida de tiempo posible. Se estudian aspectos como la secuencia óptima de las actividades, cómo se realizan y se sincronizan entre sí.

**IFC (Industry Foundation Classe):** Es un formato de intercambio de datos elaborado por BuildingSmart International el cual facilita interoperabilidad entre diferentes programas.

**Interoperabilidad:** Se refiere a la capacidad de trabajar colaborativamente sin pérdida de información, reduciendo al máximo la duplicación de recursos y esfuerzos.

**Lean Construction:** Estrategia para la gestión de proyectos que consiste en la mejora continua de los procesos a través de la “construcción sin pérdidas”.

**M.E.P (Mechanical, electrical and plumbing):** Son las siglas en inglés que hacen referencia a las instalaciones mecánicas, eléctricas e hidrosanitarias.

**Master de piso.** Hace referencia a la totalidad de los sistemas modelados (arquitectónico, estructural, instalaciones, etc.) visibles para un mismo piso del edificio y/o proyecto.

**Master de sistema.** Se refiere al modelado individual de cada sistema para la totalidad del edificio y/o proyecto.

**Máster máster.** Es un archivo que contiene todos los sistemas modelados del edificio y/o proyecto para todos los pisos que lo constituyen. Con el máster máster es posible visualizar el edificio en su totalidad.

**Modelado paramétrico.** Es una forma de modelado caracterizada principalmente porque los elementos son variables dependiendo de la configuración establecida de los parámetros.

**Modelo 3D:** Representación gráfica en tres dimensiones del edificio y/o de los sistemas que lo conforman.

**Nivel de desarrollo LOD (Level of development):** Es una escala desde LOD 100 a LOD 600 que valora el nivel de cantidad y calidad de la información suministrada en el modelo.

**Nivel de detalle (Level of Detail):** Es una escala de G0 a G3 que indica el nivel exactitud del elemento representado en el modelo con las características reales del mismo.

**Nivel de madurez BIM (BIM Maturity Level):** Es una escala desde 0 a 4 que indica el nivel de conocimientos en cuanto a la implementación BIM que posee una organización y el uso de las buenas prácticas en los proyectos.

**OpenBIM:** Es un concepto desarrollado por buildingSmart cuyo propósito es la colaboración digital abierta de tal manera que se facilite la comunicación aun cuando sea empleada información en diferentes formatos.

**Parámetros:** Son valores y características editables en un elemento. Por ejemplo, coordenadas, dimensiones, materiales, colores, unidades, costos, etc.

**Project Management:** Disciplina encargada de la gestión del proyecto y/o edificio teniendo en cuenta la planeación, organización y administración de los recursos.

**Realidad virtual:** Es un entorno simulado, ambientado con escenas creadas por medios tecnológicos. Al ser visualizado, la percepción del espectador es la de estar inmerso en él.

**Renderizar:** Es el proceso mediante el cual se genera una imagen foto realista desde el modelo 3D.

**RFI (Request For Information):** Es una recopilación documentada por escrito donde la empresa hace una solicitud de información o preguntas, que no se encuentran fácilmente deducibles en los documentos del contrato, a los proveedores sobre el producto en cuestión.

**RVT:** Extensión de archivos propia del programa Autodesk Revit para el modelado de proyectos.

**Sinergia:** Acción conjunta y colaborativa entre dos o más actores el cual consigue como resultado un impacto positivo y mayor comparado con el logrado individualmente.

**Sistema:** Es cada uno de los modelos individuales que conforman un edificio y/o proyecto y que tienen la particularidad de tener un fin específico en conjunto. Por ejemplo, el sistema de suministro de agua potable, de evacuación de aguas residuales, etc.

**StartUp:** Se refiere a la visión, planeación, y recopilación de información en etapas tempranas de un proyecto.

## 1.2. Marco teórico

“Designing and building better with BIM. Through BIM, Autodesk is helping Architecture, Engineering and Construction (AEC) professionals move towards more collaborative, automated and more successful ways of working”. (Autodesk, s.f.)

La anterior, es una reseña brindada por el sitio oficial de Autodesk referente a la finalidad de implementar la metodología BIM. Partiendo de la necesidad de comprender los lineamientos teóricos que integran esta metodología, se debe establecer qué es BIM, qué involucra, qué diferencias y ventajas representa con respecto a la metodología CAD y algunos casos de estudio tomados como referentes.

**1.2.1 ¿Qué es BIM?** A raíz del surgimiento del dibujo asistido en 3D nace BIM (Building Information Modeling). Esta forma de trabajo innovadora condiciona que los proyectos de construcción puedan ser controlados en las fases de diseño, planeación, ejecución y vida útil de los edificios, permitiendo tomar medidas oportunas frente a los factores que puedan producir riesgos a la ejecución y desarrollo del edificio.

La definición del sitio web oficial de (Autodesk, s.f.) es la siguiente: “BIM (Building Information Modeling) es un proceso inteligente basado en un modelo 3D que brinda a los profesionales de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AEC) la visión y las herramientas para planificar, diseñar, construir y administrar edificios e infraestructura de manera más eficiente”. Lo anterior ratifica que BIM no es solo un concepto, sino que agrupa diferentes disciplinas orientadas a alcanzar la eficiencia en los procesos involucrados en obras de ingeniería, arquitectura y construcción. Diversos autores y organizaciones han brindado otras definiciones:

Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la

información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes. (buildingSMART, s.f.)

BIM es el acrónimo de Building Information Modeling, aunque podría ser perfectamente Building Information Management, ya que el BIM tiene mucho que ver con la gestión de la información y no sólo con el modelado. (...) Es importante aclarar que BIM no es un software, aunque obviamente el software forma parte del BIM. BIM es un método de trabajo que se define en el contexto de la cultura colaborativa y de la práctica integrada, y supone una profunda transformación que afecta a todos los procesos de diseño, constructivos y de gestión de activos que hemos conocido hasta ahora. (KAIZEN, s.f.)

(Race, 2013) cita en su libro BIM Demystified la definición de la GSA (U.S. General Services Administration) destacando la diferencia entre el proceso de modelado y modelo. En esta definición se infiere que BIM es el uso de un modelo de datos desarrollado a través de software multifacético no solo para documentar el diseño de los edificios, sino también para simular la construcción y operación de una nueva instalación. El modelo de información de construcción resultante es una representación digital paramétrica, inteligente, basada en objetos, y rica en datos.

Referente a las ventajas de colaboración e integración para competir en el mercado laboral, (EUBIM TASKGROUP, 2017) lo define así:

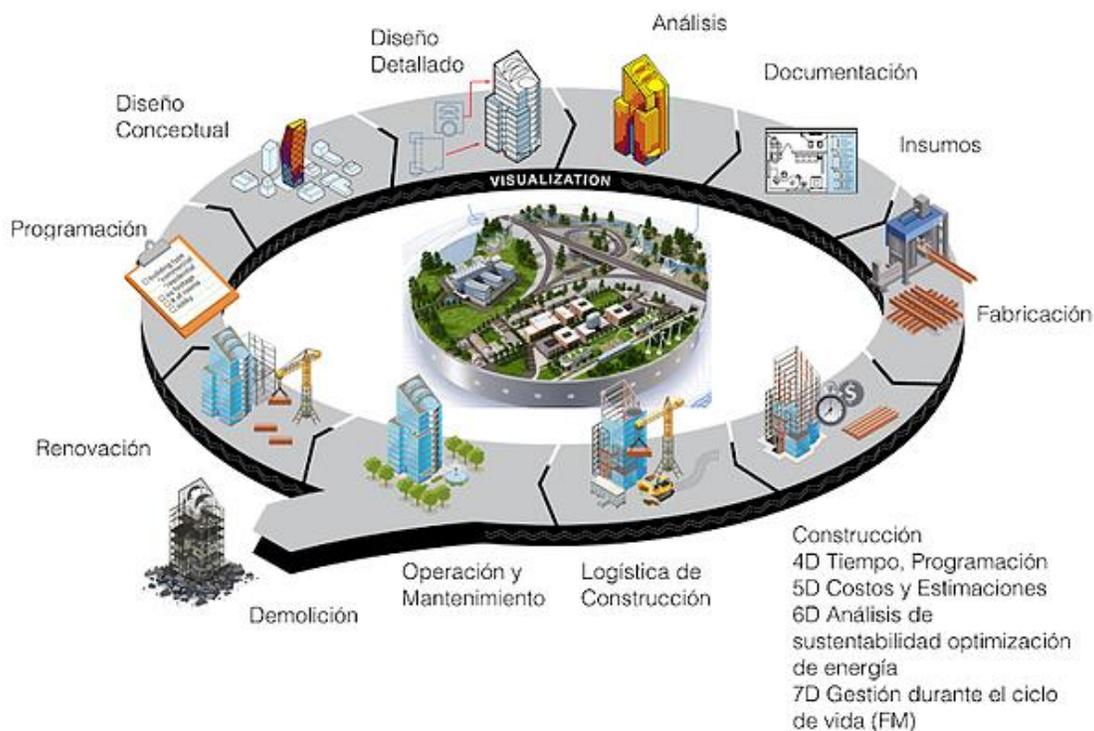
BIM es un modelo digital de construcción y de operación y mantenimiento de activos. Aúna tecnología, mejoras en los procesos e información digital con el fin de mejorar radicalmente los resultados de los clientes y de los proyectos, así como la explotación de los activos. BIM es un factor estratégico para mejorar la adopción de decisiones relativas tanto a los edificios como a las infraestructuras públicas a lo largo de todo su ciclo de vida. (p. 4)

Por su parte, (Walsh, 2016) señala que primordialmente el valor de BIM es crear un proceso colaborativo durante todo el ciclo de vida de un activo, basado en la creación, cotejo e intercambio de modelos 3D y datos compartidos, inteligentes, estructurados, y vinculados entre sí.

## 1.2.2 ¿Qué involucra BIM?

**Ciclo de vida del edificio.** El desarrollo de proyectos de construcción no solo consiste en crear planos eficientes y ejecutar las obras; alcanzar el desarrollo óptimo de las mismas debe incluir un adecuado seguimiento a las edificaciones en todo su ciclo de vida. Apoyando esto, (Cárdenas, 2016) afirma que “La posibilidad de simular el ciclo de vida del edificio y su futura deconstrucción es la clave de su éxito” (p. 60).

Para los procesos BIM el ciclo de vida de las edificaciones se sintetiza en el diagrama que presenta la compañía Autodesk en un video titulado “BIM for the Building Lifecycle”. Según esta casa de diseño de software, la necesidad de controlar la fase operativa de la edificación reside en que los mayores costos se presentan justamente en esta etapa, para ilustrar, señalan que en los Estados Unidos durante el ciclo de vida de un edificio los costos de construcción y diseño representan aproximadamente entre el 5% y el 10% de los costos totales, el resto son costos de operación y mantenimiento. (Mojica & Valencia, 2012, pág. 21)



**Figura 1.** Ciclo de vida de la edificación.

Fuente: (Grupo Soma, 2019)

BIM proporciona entonces capacidad y facilidad para controlar los procesos que deban llevarse a cabo en la etapa de funcionamiento de los edificios. (Mojica & Valencia, 2012) infieren que “Un proceso BIM completo cubre todas las etapas del ciclo de vida de la edificación controlando los múltiples subprocesos que ocurren en cada una” (p. 22).

Todos los factores y procesos involucrados en la planeación, ejecución y seguimiento de una edificación deben hacer parte de una misma gestión para alcanzar el éxito de los proyectos. De lo anterior se extrae la importancia de BIM en relación a la Gestión de la Integración de un Proyecto definida en la PMBOK® Guide como el área de conocimiento que identifica, define, y coordina los procesos del resto de áreas y que consiste en tomar decisiones. (Cárdenas, 2016)

Con respecto a las ventajas del BIM para el seguimiento y control de obras, (Cárdenas, 2016) establece:

En la aplicación BIM para el control y seguimiento de plazos, destaca el aporte que supone para la labor del Project Manager, la visualización de la programación vinculada a los elementos constructivos, el control sobre la logística de la obra e incluso la relación que guarda con la seguridad y salud dentro del espacio de trabajo. (p. 55)

Esto ratifica que mediante la implementación del BIM a proyectos de construcción se abarcan la mayoría de procesos que, trabajando coordinadamente, garantizan un mayor éxito en el seguimiento y control de las obras.

Todo proyecto de construcción consta de una serie de etapas o fases para llevarse a cabo. (Choclán et al., 2017) establecen las etapas del proyecto BIM de la siguiente manera (p. 3):

- Pre-construcción.
- Construcción.
- Post-Construcción.
- De-construcción.

Así mismo, establecen las fases del ciclo de vida utilizando metodología BIM así:

- Evaluación de la necesidades y objetivos –Viabilidad-
- Diseño conceptual
- Planificación del diseño
- Control del diseño
- Planificación de la construcción
- Control de la construcción
- Inspección final, entrega y recepción de la obra
- Vida Útil
  - Garantía
  - Vida útil
  - Modernización y/o Cambio de Uso (Puede generar un nuevo Proyecto Edificatorio)
- Demolición. Recuperación y reciclado

Aunque las consideraciones sobre las fases de un proyecto pueden variar dependiendo de cada organización, se permite evidenciar que la metodología BIM en todas sus fases de aplicación agrupa aspectos relevantes para la eficiencia de las obras en toda su vida útil, permitiendo el control desde la planificación.

***Roles y equipos de trabajo.*** Como se definió anteriormente, BIM no es sólo un software, es una filosofía que implica trabajar de forma integrada.

De hecho, trabajar con la metodología BIM significa utilizar la tecnología para integrar mejor las diferentes habilidades profesionales que intervienen en la obra en progreso, permitiendo un provechoso intercambio de conocimientos, una actualización oportuna de la información disponible en tiempo real, reduciendo drásticamente los errores y obteniendo mejoras globales. (BibLus, 2019)

Referente a lo anterior, (Choclán et al., 2017) mencionan que:

Para gestionar un proyecto con metodología BIM (BIM Project) se crea un equipo de trabajo (Task Team) en el cual se definen los roles y responsabilidades en el Plan de Ejecución BIM (BEP) que se reflejarán en el contrato. Al igual que el Plan de Ejecución BIM, éste es un documento vivo que se adaptará a cada tipo de proyecto, organización y fase del ciclo de vida. (p. 1)

Además, (Choclán et al., 2017) caracterizan los equipos y roles de trabajo en la gestión de un proyecto de la siguiente manera (p. 1):

- La gestión de un proyecto BIM es llevada a cabo por todo el equipo de trabajo.
- En la gestión de un proyecto BIM los roles no son cargos en la empresa, son funciones y responsabilidades asignados en el equipo de trabajo.
- Un rol puede ser realizado por más de un miembro del equipo de trabajo.
- Un miembro del equipo de trabajo puede asumir más de un rol.
- Los miembros del equipo de trabajo deben ser competentes para desempeñar el rol asignado.
- Los miembros del equipo de trabajo deben tener autoridad para desempeñar el rol asignado.
- Los roles pueden pasar de una actividad a otra durante el ciclo de vida de un proyecto BIM.

(Ocampo, 2014) complementa que “Todas las personas, expertos o equipos de trabajo involucrados en un proyecto de inversión para el sector de la construcción son actores del BIM [8]” (p. 24). Además, afirma que:

Ya sea el inversionista, el dueño del proyecto o cualquiera de los expertos, todas y cada una de estas personas pueden formar parte del sistema BIM mediante una asignación de roles que permite adicionar u obtener datos de cualquier índole. (p. 24)

Resumiendo, en los proyectos BIM se crean equipos y roles que trabajan de forma colaborativa, e involucra a todos los actores, ya sea clientes, diseñadores, constructores, y

proveedores. Según (Choclán et al., 2017) los siguientes son los equipos que se ven involucrados en proyectos BIM (p. 4):

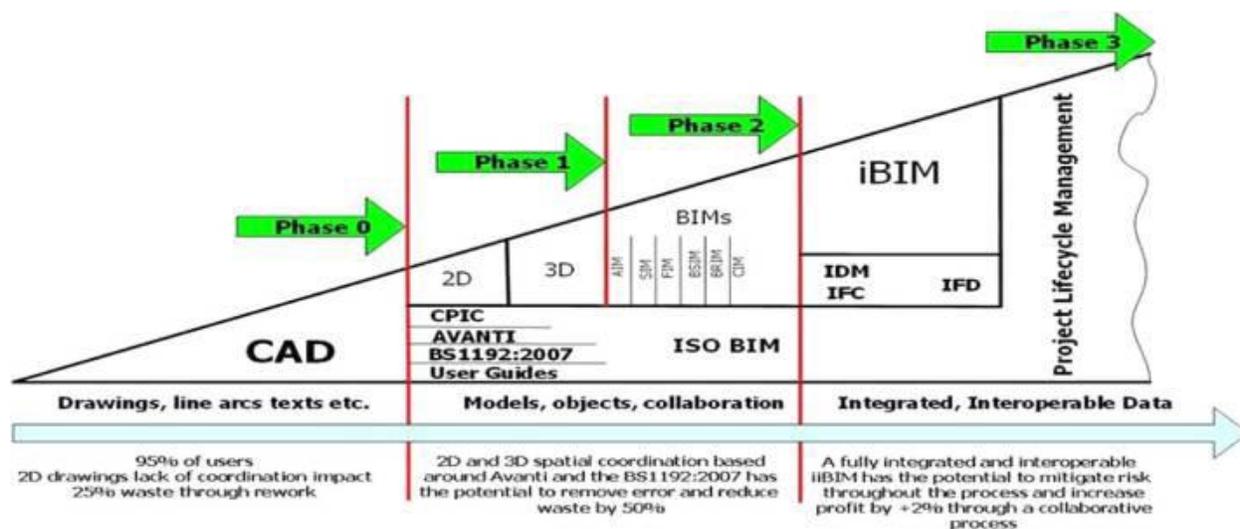
- Equipo del promotor / Cliente (EP) – Client Team (CT)
- Equipo de gestión del proyecto (EGP) – Project Management Team (PMT)
- Equipo de diseño del proyecto (EDP) – Integrated Design Project Team (IDPT)
- Equipo de construcción (EC) – Construction Team (CT)
  - Equipo de dirección de construcción
  - Equipo de producción
- Equipo de post-construcción:
  - Equipo de operación y mantenimiento (EOM) – Facility Management Team (FMT)
- Equipos de de-construcción:
  - Equipo de demolición (ED) – Demolition Team (DM)
  - Equipo de reutilización – Re-use Team
  - Equipo de reciclaje – Recycle Team

Así mismo, plantean los diferentes roles que se ven enmarcados en proyectos BIM (p. 4):

- Promotor / Cliente – Owner / Client
- Director De Proyecto Bim – Bim Project Manager
- Director De La Gestión De La Información – Information Manager
- Director Técnico Bim – Bim Manager
- Director De La Gestión Del Diseño – Lead Designer
- Director De La Gestión De La Ejecución – Lead Construction
- Director Del Equipo De Trabajo – Task Team Manager
- Coordinador Bim – Bim Coordinator
- Modelador Bim – Bim Modeler / Bim Operator
- Otros Profesionales Bim:
  - Analista Bim – Bim Analyst
  - Coordinador Cad – Cad Coordinator

- Director Técnico Cad – Cad Manager
- Programador De Aplicaciones Bim – Bim Application Developer
- Especialista Ifc – Ifc Specialist
- Facilitador Bim - Bim Facilitator
- Consultor Bim – Bim Consultant / Bim Expert
- Investigador Bim – Bim Researcher

**Niveles de madurez y dimensiones BIM.** La metodología de trabajo BIM, al abarcar todo un sistema ramificado de diferentes subprocesos involucrados en los proyectos de construcción, se encuentra clasificado por dimensiones y niveles de madurez que representan la evolución de los modelos de dibujo elaborados. El modelo de más aceptación y uso frecuente referente a los niveles de madurez BIM es el BewRichards BIM Maturity Model mostrado en la Figura 2, desarrollado por (Bew & Richards, 2008).



**Figura 2.** Modelo de madurez BIM de BewRichards.

Fuente: (Bew & Richards, 2008)

Este modelo identifica el “Nivel 0” como aquel en el que se utiliza todavía el CAD como sustituto de los planos tradicionales en papel. El “Nivel 1” comienza con la introducción de prácticas para la gestión de la producción, la distribución y la calidad de la información de la construcción, incluyendo los generados por sistemas CAD, usando un proceso normalizado para la colaboración. El “Nivel 2” supone la gestión con herramientas BIM de entornos 3D de las distintas disciplinas del proyecto y los datos asociados. Por

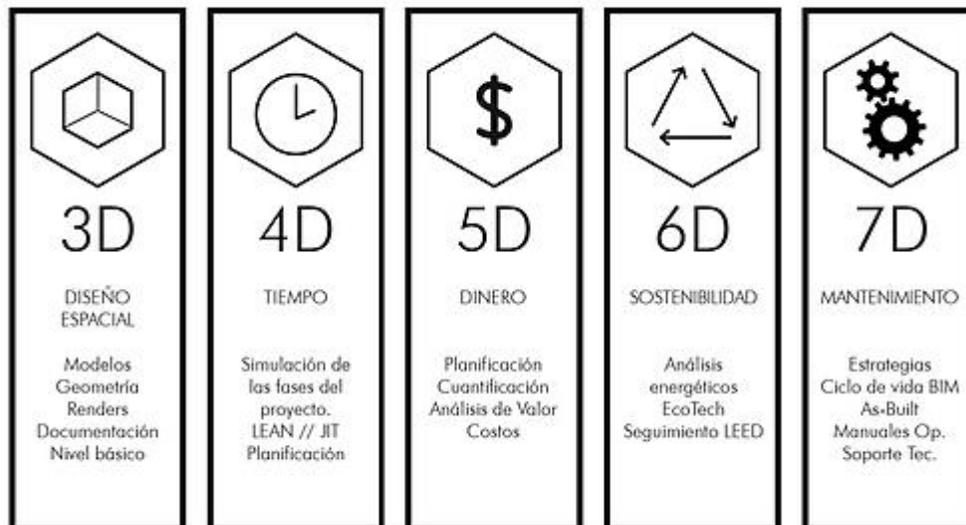
último, el “Nivel 3” supone la integración de los datos en servicios web que permitan la colaboración y la interoperabilidad. Es el nivel más avanzado por el momento. Tanto el nivel 2 como el 3, presentan implicaciones legales que están siendo objeto de mucha atención en distintos estudios científicos y técnicos (Olatunji, 2011). (Martín, Gonzalez, & Roldan, 2014, pág. 13)

Como abarca lo anterior, los proyectos se desarrollan en distintas etapas de madurez que garantizan una mayor eficiencia en los proyectos a mayor nivel. Y es el nivel 3 el que garantiza la interoperabilidad, que resultará en los procesos colaborativos que dan ventaja al BIM respecto de otras metodologías de trabajo. Esto se logra al contar con herramientas web para el manejo de datos sincronizados en tiempo real. No obstante, como expresa (Alonso, 2018):

Es importante ser consciente que acometer un proyecto de construcción siguiendo el concepto BIM, no es algo que se pueda realizar de una manera inmediata, ya que intervienen muchos factores tanto de medios materiales como humanos de los que no se dispondrá por completo en la empresa que quiera iniciar su andadura en el mundo BIM.

La anterior desventaja devela que no es fácil adentrarse en la implementación BIM, pues es un proceso que requiere altos conocimientos por parte de todos los implicados. Para esto se desarrollaron los niveles de madurez, que permiten seguir unos lineamientos pausados y progresivos que conllevan a alcanzar la interoperabilidad ya mencionada en el máximo nivel.

Por otra parte, se establecieron las dimensiones BIM, las cuales pueden definirse como “niveles en los que se va aportando cada vez un valor añadido nuevo. Un parámetro nuevo que influye en el modelo y aporta información” (González, 2015, pág. 29). Siguiendo los lineamientos anteriores (García, 2017) expone que “el Modelo BIM adquiere una nueva dimensión de información con cada nueva aplicación o conjunto de información” (p. 29).



**Figura 3.** Dimensiones de aplicación BIM.

Fuente: (Protoforma, s.f.)

La dimensión *2D (Drawing)* se refiere a los planos CAD tradicionales (líneas, imágenes, rendering). La *3D (Model)* supone disponer de un modelo 3D que nos permita navegar por él, detectar colisiones, realizar simulaciones a nivel inicial de las fases de obra o permitir montar una maqueta virtual. La dimensión *4D (Time)* añade la programación detallada de obra, con información de las actividades previstas. La dimensión *5D (Cost)* supone la inclusión de información de la medición y el coste en el modelo BIM. Las dimensiones 6D y 7D están asociadas con los análisis de sostenibilidad y la gestión y operación de las infraestructuras. (Martin et al., 2014, p. 14)

Dentro de las ventajas que se destacan para estas dimensiones, en cuanto a la 3D, (BIMMEX, 2019) comenta:

Reduce y elimina errores e inconsistencias en los planos de todas las especialidades, gracias a que en el modelo se pueden detectar las interferencias y choques que es un plano son imposibles de prevenir. De igual forma si el modelo está bien estandarizado te permite generar planos en automático a través de plantillas y hacer las cuantificaciones exactas de material por cada elemento a construir. Estos beneficios han demostrado ahorros de hasta 12 meses de trabajo en la pre construcción de los proyectos y más de 5 millones de pesos en materiales y mano de obra.

A su vez, señalan que el modelo 4D “integra el plan de obra en el modelo BIM, lo que permite realizar simulaciones de construcción e idear estrategias efectivas para la construcción de áreas críticas del proyecto”. Lo anterior es posible debido a que “actualmente existen diferentes programas en el mercado especializados en esta “Dimensión” como Synchro, Solibri, Vico Office, Tekla BIMSight, ConstructSim, Navisworks...” (Aguilar, 2018).

Alusivo a la quinta dimensión, (BIMMEX, 2019) aporta que:

Este tipo de modelos nos permite gestionar el presupuesto del proyecto junto con el plan de obra, se agrega el costo de cada partida, material o elemento, y con las cuantificaciones generadas del modelo, se calcula el costo total el cual podemos visualizar por fase de construcción, partida, especialidad, día, mes y muchas opciones más que se adaptan a cualquier necesidad. Los modelos 5D nos permiten simular el impacto en el presupuesto de cambios en el proyecto o en el plan de obra, todo de forma automática y exacta lo que facilita y mejora la toma de decisiones financieras.

Por su parte, las dimensiones 6D y 7D tienen como enfoque las etapas de operación y mantenimiento de los edificios, y se relacionan con la sostenibilidad y la gestión energética de los mismos, lo que representa variedad de aplicaciones para el BIM.

La sexta dimensión de BIM no solo trata del ahorro energético y el diseño sostenible (aunque son los aspectos más reconocidos), sino también del concepto de ingeniería de valor (Value Engineering), que consiste en la optimización de los sistemas constructivos, estructuras e instalaciones, de forma que con unas pocas modificaciones clave en partidas estratégicas o en determinados sistemas o equipos obtendremos una reducción significativa de los costes, en fase de construcción y/o en fase de explotación, sin perder la esencia del proyecto. (Morales, 2017)

La dimensión 7D según (Reyes, 2017):

Permite gestionar el ciclo de vida de un proyecto y sus servicios asociados. Le da el control logístico, operacional, del proyecto durante el uso y manutención de la vida útil; logrando la optimización de los procesos importantes tales como inspecciones, reparaciones, mantenimientos, etc.

Mojica (2012) especifica las dimensiones BIM de la siguiente manera:

**Tabla 1**

*Dimensiones de Building Information Modeling*

DIMENSIÓN	ELEMENTO CARACTERÍSTICO	ELEMENTOS ASOCIADOS
2D	Documentación.	Planos, esquemas, etc.
3D	Espacio tridimensional.	Visualización.
4D	Tiempo.	Programación de obra.
5D	Costo.	Presupuestos.
6D	Aplicaciones operacionales y de diseño.	Análisis de eficiencia energética, ventilación, iluminación, análisis estructural, etc.
7D	Aplicaciones relacionadas.	Logística, contratación, compras, manejo de proveedores.

**Nota.** La tabla muestra las distintas dimensiones que se abarcan en la metodología BIM y los elementos que constituyen cada dimensión. Fuente: (Mojica & Valencia, 2012).

**Software y tecnología BIM.** BIM incorpora herramientas informáticas que, implementadas bajo una misma metodología de trabajo, proporcionan los mecanismos para llevar a cabo proyectos con calidad y eficiencia. La combinación software y metodología es la clave del éxito del BIM. Existen variedad de programas involucrados que desempeñan funciones distintas, pero al emplearse coordinadamente, garantizan que para un mismo proyecto sea posible planificar modelos tridimensionales, evaluar interferencias, obtener cantidades de obra, permitir la sincronización de la información al trabajar bajo un mismo almacenamiento en la nube, lo que mejora la comunicación, entre otros beneficios.

Una aplicación BIM es aquella que emplea como entidades de trabajo principal objetos paramétricos de cualquier disciplina que son capaces de relacionarse entre ellos y de los que se puede extraer diversos tipos de información, entre los que se incluye representaciones gráficas pero también alfanuméricas. (Coloma, 2008, pág. 12)

(Mojica & Valencia, 2012) establecen que la interoperabilidad es uno de los factores claves en la implementación BIM; entiéndase interoperabilidad como la sincronización de información entre los diferentes entes involucrados en los procesos BIM. “Así un modelo desarrollado en un

software como Autodesk Revit Architecture™ puede ser transferido a plataformas de modelación especializada en estructuras (Autodesk Revit Structure™) y Análisis Estructural (Autodesk Robot Structural Analysis Professional™)” (Mojica & Valencia, 2012, pág. 22). Lo anterior clarifica que los diferentes programas trabajando conjuntamente proporcionan facilidad para desarrollar proyectos más exitosos.

Hay múltiples formatos asociados a BIM que sirven para exportar archivos digitales entre software de diversos fabricantes. De esta forma un modelo paramétrico creado inicialmente en un producto Revit puede ser exportado a Tekla™, ArchiCAD™ o Bentley Architecture™, para generarle cambios o hacer otros tipos de análisis. (Mojica & Valencia, 2012, pág. 22)

Con respecto a las aplicaciones que se emplean coordinadamente en la metodología BIM, se pueden clasificar en dos tipos principales: las que van directamente ligadas a esta metodología y se usan con mayor frecuencia, catalogadas como aplicaciones nativas, y están las que complementan algunas funciones, pero hacen parte de procesos independientes, estas se denominan aplicaciones implementadas. A continuación, se enlistan los programas más conocidos:

- Aplicaciones nativas:
  - Autodesk Revit.
  - Graphisoft ArchiCAD.
  - Nemetscheck Allplan.
  - Tekla Structures.
  
- Aplicaciones implementadas:
  - Autodesk AutoCAD Architecture.
  - Bentley Architecture.
  - Navisworks.
  - 3DMax.
  - Presto.
  - Robot.

- SketchUp.

Por otra parte, se han estado implementando herramientas tecnológicas para solventar algunos inconvenientes. Con el auge de drones dado en los últimos años, han sido múltiples los usos para los que se han destinado, y BIM como referente en inversión tecnológica no ha sido la excepción. Dentro de las utilidades para los proyectos de construcción se destaca que “se utilizan para el levantamiento de la morfología del terreno, de edificios existentes (incluso de interés histórico y artístico), o para el entero levantamiento de centros habitados” (BibLus, 2019). También señala que “los drones pueden usarse para monitorear/controlar la evolución y el estado de la obra durante nuestra construcción. Esto es necesario para verificar la congruencia entre el proyecto y lo construido”

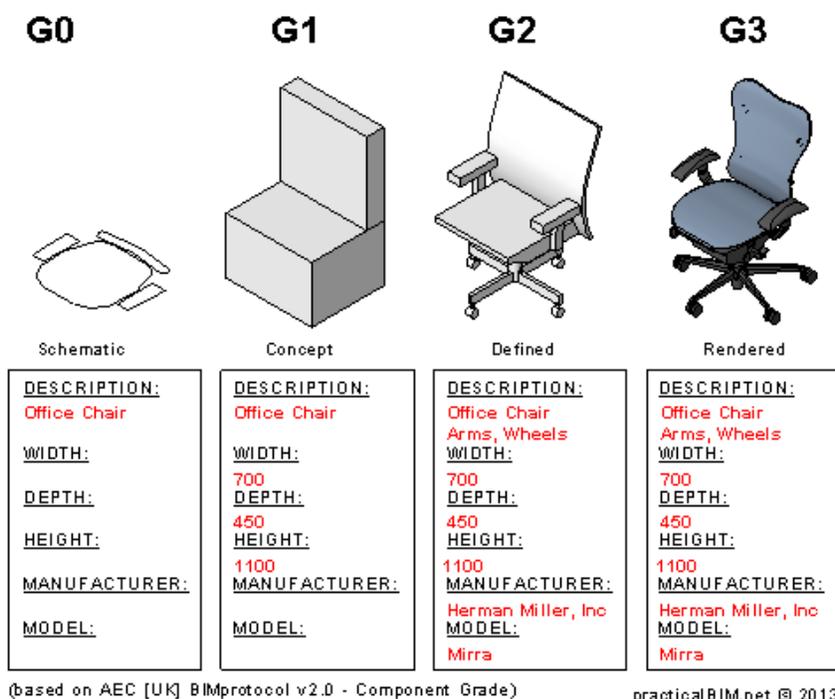
Adicionalmente, se destaca la importancia de la realidad virtual para la toma de decisiones; a pesar de que se encuentra en pleno surgimiento en la construcción, ayuda a “verificar anticipadamente la disposición de los espacios, realizar controles precisos y minimizar los errores de diseño antes de la ejecución del proyecto” (BibLus, 2019).

Se recalca el comentario de Sue Klawans, vicepresidenta senior y directora de excelencia operacional y planificación en Gilbane Building Company en Rhode Island, USA, citado por (Sánchez A. , 2016) referente a las posibilidades de integración de la realidad virtual: “Su naturaleza envolvente permite interactuar con la edificación y retroalimentar el diseño antes de romper el terreno”.

***Nivel de detalle y nivel de desarrollo.*** Todo proyecto de construcción bajo implementación BIM puede ser llevado a cabo bajo distintos niveles de desarrollo, estos engloban el nivel de detalle que el proyecto requiere. (Monfort, 2014) cita en uno de sus apartados la concepción del nivel de detalle en un proyecto del autor (Kymmell, 2008), “un modelo es una abstracción de la realidad. El carácter y nivel de detalle requerido para compartir su información dependerá del propósito del proyecto y del nivel de entendimiento de quien está visionándolo” (p. 37).

La primera compañía de Software en introducir el concepto de Nivel de Detalle o “Level of Detail” (LoD) fue Vico Software, ya que le era necesario para el desarrollo de sus funciones en el campo de las mediciones y presupuesto utilizando la metodología BIM. (Monfort, 2014, pág. 37)

Se establecieron entonces los niveles de detalle, que como define la es.BIM es el “nivel de información geométrica del modelo y su representación gráfica” (Esarte, 2019). Así mismo, (Madrid, 2015) define que “se corresponde a la evolución lineal de cantidad y riqueza de información de un proceso constructivo; siempre aumenta con el tiempo y se refiere al modelo de proyecto, los costes/presupuestos y la planificación temporal” (p. 40).



**Figura 4.** Niveles de Detalle BIM.

Fuente: (PracticalBIM, 2013)

A partir del desarrollo de los niveles de detalle, surge el denominado nivel de desarrollo o “Level of Development” (LOD), que en contraste con el anterior engloba cantidad y calidad. (Monfort, 2014) asegura que

El cambio de terminología, se dio cuando el AIA consideró válido este concepto para valorar la información que contiene un modelo BIM, ya que no sólo se refería a la parte gráfica del modelo sino que permite valorar además la información contenida en él. (p. 38)

En este nuevo enfoque generalizado, se asigna un número único para definir el nivel de definición de la información de los elementos del modelo para cada una de las etapas del ciclo de vida del proyecto. La mayoría de guías sugieren una clasificación basada en 6

o 7 niveles, la cual puede ir creciendo en función de las necesidades de cada proyecto. La mayoría de las guías suelen venir acompañadas por documentos tipo plantillas, en el que se incluyen tablas para la especificación del LOD, como un documento más del BEP. (Costa, Jardí, & Valderrama, 2015)

En cuanto a los distintos niveles de desarrollo que se pueden alcanzar en un proyecto BIM, (Osca, 2016) señala:

Existen diferentes niveles de desarrollo, desde un LOD 100, que presenta elementos de manera muy básica y conceptual hasta un nivel LOD 500 de mayor desarrollo y con mayores especificaciones. Conforme se sube en escala, aumenta la cantidad de cosas que se deben modelar y por consiguiente mayor es el nivel de detalle del modelado. (p. 19)

El nivel de desarrollo es una particularidad del elemento que conforma el modelo, no debe considerarse que el proyecto en su totalidad presenta el mismo desarrollo sin analizar todos los elementos. (Osca, 2016) lo confirma así:

El LOD en ningún momento se refiere a la totalidad del proyecto ni tiene vinculación con el desarrollo o construcción, si no que afecta a cada elemento en particular. Por tanto, para poder decir que un modelo ha alcanzado su nivel máximo de desarrollo, todos los elementos que lo componen deben tener el nivel. No obstante, cabe la posibilidad de definir el nivel de desarrollo de elementos determinados para poder considerar que el conjunto del proyecto ha alcanzado la madurez suficiente. (p. 20)

A continuación, se detallan los niveles de desarrollo LOD como muestra la figura:

# LEVEL of DEVELOPMENT

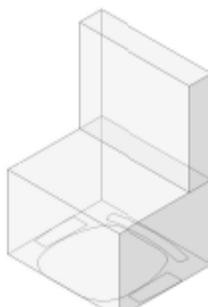
LOD 100

LOD 200

LOD 300

LOD 400

LOD 500



Concept (Presentation)

Design Development

Documentation

Construction

Facilities Management

<b>DESCRIPTION:</b> <b>Office Chair</b> Arms, Wheels
<b>WIDTH:</b> 100
<b>DEPTH:</b> 100
<b>HEIGHT:</b> 100
<b>MANUFACTURER:</b> Herman Miller, Inc.
<b>MODEL:</b> Mirra
<b>LOD:</b> 100

<b>DESCRIPTION:</b> <b>Office Chair</b> Arms, Wheels
<b>WIDTH:</b> 700
<b>DEPTH:</b> 450
<b>HEIGHT:</b> 1100
<b>MANUFACTURER:</b> Herman Miller, Inc.
<b>MODEL:</b> Mirra
<b>LOD:</b> 200

<b>DESCRIPTION:</b> <b>Office Chair</b> Arms, Wheels
<b>WIDTH:</b> 700
<b>DEPTH:</b> 450
<b>HEIGHT:</b> 1100
<b>MANUFACTURER:</b> Herman Miller, Inc.
<b>MODEL:</b> Mirra
<b>LOD:</b> 300

<b>DESCRIPTION:</b> <b>Office Chair</b> Arms, Wheels
<b>WIDTH:</b> 685
<b>DEPTH:</b> 430
<b>HEIGHT:</b> 1085
<b>MANUFACTURER:</b> Herman Miller, Inc
<b>MODEL:</b> Mirra
<b>LOD:</b> 400

<b>DESCRIPTION:</b> <b>Office Chair</b> Arms, Wheels
<b>WIDTH:</b> 685
<b>DEPTH:</b> 430
<b>HEIGHT:</b> 1085
<b>MANUFACTURER:</b> Herman Miller, Inc
<b>MODEL:</b> Mirra
<b>PURCHASE DATE:</b> 01/02/2013

(Only data in red is useable)

practicalBIM.net © 2013

Figura 5. Niveles de desarrollo BIM (LOD).

Fuente: (PracticalBIM, 2013)

- **LOD 100.** Como característica principal es un diseño conceptual. (Osca, 2016) detalla lo siguiente:

El elemento se representa en la ventana gráfica de una manera simbólica o genérica. Se describe básicamente su volumen, área y orientación. El elemento puede ser usado para desarrollar una estimación de costos y la duración del proyecto mediante técnicas de estimación. (p. 20)

- **LOD 200.** “El nivel LOD 200 es prácticamente como el 100 con la diferencia que ya tenemos una idea del acabado exterior y podemos plantear la división temporal de cada fase de la obra de una manera más clara y detallada” (Monfort, 2014, pág. 39).

- **LOD 300.** El LOD 300 ya permite obtener información y geometría precisa, pero aún con un detalle constructivo inconcluso. (Monfort, 2014) establece que “Permite desarrollar estimaciones de costes sobre los datos específicos proporcionados. Todas las capas que componen los elementos constructivos deben estar ya definidas, así como los acabados” (p. 39).
- **LOD 350.** Tal como estipula (Monfort, 2014) es el nivel intermedio entre el LOD 300 y el LOD 400. Aún no es un nivel concebido en todas las guías BIM, sin embargo, para su edición 2008, la AIA destacó su importancia:

En primer lugar, el grupo de trabajo identificó la necesidad de un LOD que definiera los elementos del modelo suficientemente desarrollados para permitir la coordinación entre disciplinas, por ejemplo, la detección y prevención de conflictos y de diseños. Los requisitos para este nivel son más altos que los de 300, pero no tan altos como los de 400, por lo que fue designado LOD 350. Los documentos de AFP no incluyen LOD 350, pero la guía asociada y Instrucciones hacen referencia a ella. (Antunez, 2014)

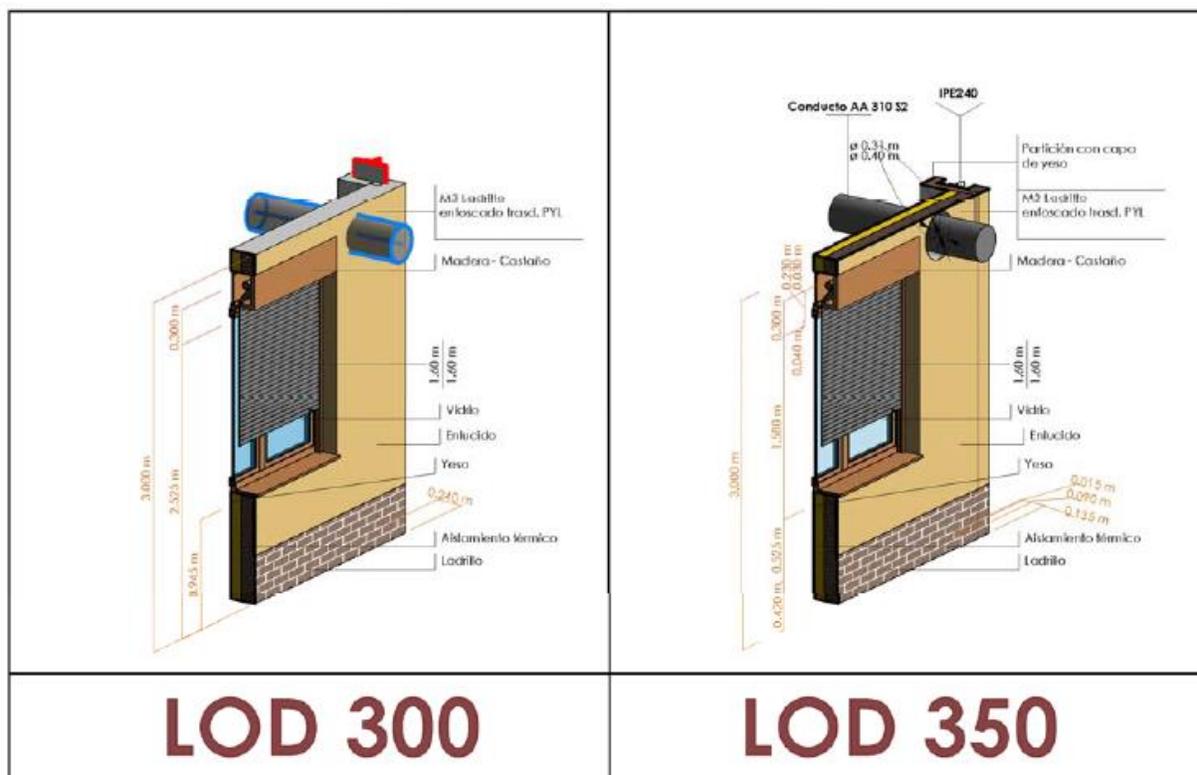


Figura 6. Esquema gráfico de niveles de desarrollo LOD 300 y 350.

Fuente: (Madrid, 2015)

- **LOD 400.** “Alcanzado este nivel, el modelo cuenta con el detalle necesario para la ejecución del edificio, pues los elementos que lo componen tienen información precisa de fabricación, montaje, ensamblaje y detalles necesarios para la construcción del edificio” (Monfort, 2014, pág. 39). Además, en este nivel es posible obtener presupuestos y programación con reducción significativa de sobrecostos y retrasos.
- **LOD 500.** Básicamente es la representación real del modelo definitivo que ya se ha construido. (Monfort, 2014) detalla la importancia de este modelo para el seguimiento del ciclo de vida de las obras:

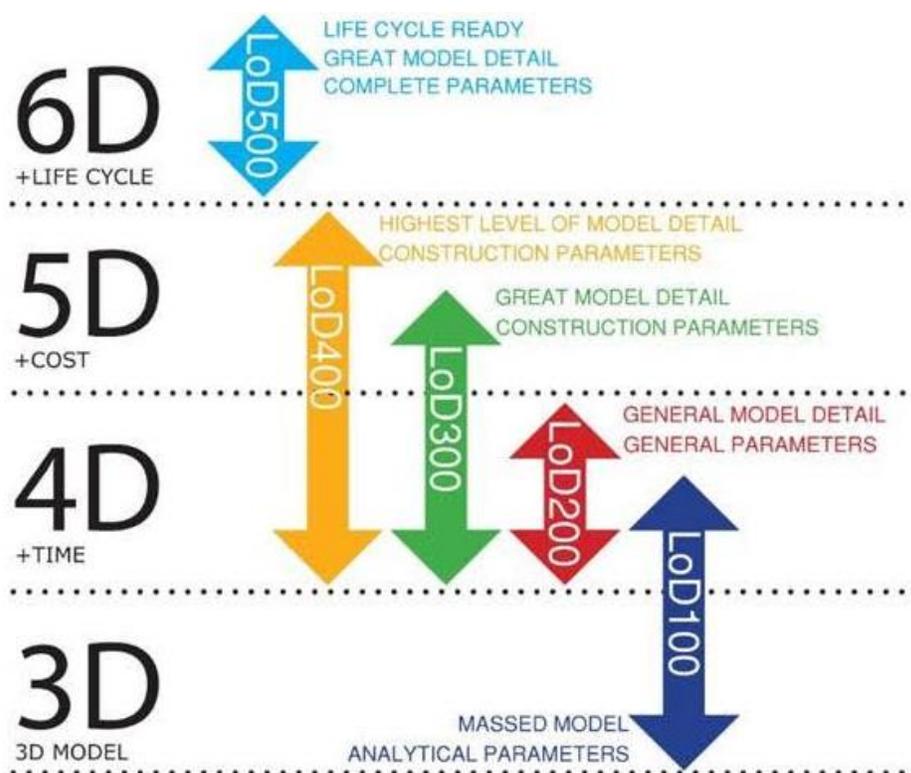
Se trata del modelo adecuado para el mantenimiento y funcionamiento que se le facilitará al FM (Facility Management) para la fase de explotación del edificio. Este modelo reflejará todos los cambios que se han producido a lo largo de la obra. (...) En el LOD 500, podremos tener información del proveedor de los materiales, fechas de comienzos de garantías de equipos electrónicos o la transmitancia real de los materiales utilizados. (p. 40)

- **LOD 600.** Es un nivel abarcado recientemente, y se refiere a la sostenibilidad de los proyectos. Para alcanzarlo, (Osca, 2016) señala que se debe contar “con la información necesaria para poder realizar un detallado análisis energético y para obtener la calificación energética exigida” (p. 40).

De lo anterior se extrae la importancia de esclarecer los requerimientos que se esperan cumplir al adelantar un proyecto, de acuerdo a su nivel de madurez y desarrollo. Una mayor inversión de implementación BIM, otorgará mayor seguridad y confianza acerca de la calidad del proyecto.

En la siguiente figura se establecen las relaciones entre las distintas dimensiones BIM y los niveles de desarrollo LOD alcanzados en los proyectos. En ella se aprecia que el nivel de desarrollo LOD 100 se basa plenamente en la tercera dimensión y abarca parte del 4D. El nivel LOD 200 permite integrar el tiempo o 4D. Así mismo, el LOD 300 integra en su totalidad la dimensión del tiempo y parte del costo, es decir el 5D. El LOD 500 en adelante se desarrolla para

el 6D y 7D, estos corresponden a los niveles más avanzados y son desarrollados durante el mantenimiento y funcionamiento del edificio.



**Figura 7.** Relación Dimensiones BIM con Nivel de Desarrollo LoD.

Fuente: (CADEOSYS, 2017)

**1.2.3 Diferencia entre las metodologías CAD y BIM.** Aunque el CAD representa uno de los más grandes hitos en la manera de diseñar y planificar proyectos de construcción, BIM ha marcado una evolución sorprendente respecto a las herramientas tradicionales. (Ocampo, 2014) señala lo siguiente:

BIM, sigla de la expresión Building Information Modeling significa modelado de información para la construcción. Es la evolución natural que sigue a CAD, Computer Aid Design o diseño asistido por computador. Si bien los métodos empleados por CAD o BIM llevan a la elaboración de datos técnicos que sirven para la construcción de un proyecto urbano o arquitectónico, BIM trasciende hacia la idea de sistema de gestión en el que la tecnología informática tiene un papel preponderante como medio para la concepción, diseño, construcción, administración y en términos generales, la gestión de proyectos del sector de la construcción. (p. 18)

Dados los avances notorios en el uso de las herramientas informáticas surgen los objetos paramétricos, que se pueden considerar como la apertura a la nueva tecnología BIM, como indica (Blanco, 2018)

(...) mientras que en 2D tradicional y CAD 3D todos los aspectos de la geometría deben ser editados por el usuario, así como la verificación de la coherencia geométrica general después de su modificación, en el caso de objetos paramétricos, esto sucede automáticamente. (p. 21)

Por tanto, se hace necesario comprender el concepto de elemento paramétrico para establecer una de las diferencias radicales entre la metodología BIM y la CAD.

El diseño paramétrico, computacional o generativo se basa en el establecimiento de unos parámetros, que se pueden modificar fácilmente, y unas relaciones entre los elementos del dibujo de manera que cualquier alteración en los parámetros produce un cambio instantáneo en el dibujo. (Roa, 2014, pág. 19)

De esta manera, es posible agregar a los objetos características físicas de costo, resistencia mecánica, etc., con relaciones automáticas entre las modificaciones del objeto y la actualización de la información. Por lo tanto, se abre el camino a una nueva tecnología, en este caso BIM. (Blanco, 2018, pág. 22)

A partir de lo anterior, se establece entonces que la principal diferencia entre el BIM y el CAD es que la metodología BIM emplea objetos paramétricos, mientras que el CAD los incluye de manera rudimentaria. Por tanto, el CAD garantiza que el dibujo pueda visualizarse, pero, la información que brinda sólo puede ser comprendida por aquellas personas que conozcan las capas del dibujo. BIM, por otra parte, permite identificar los elementos y sus propiedades sin dificultad.

El flujo de trabajo es otra de las diferencias importantes entre ambas metodologías. Respecto al flujo de trabajo en la metodología CAD, (Pérez, 2019) señala que CAD “es la evolución de los métodos antiguos de dibujo con tinta sobre papel en que los planos se representaban en plantas de dos dimensiones, alzados e isométricos” (p. 20).

La metodología no varía significativamente, sólo se modificó su forma de elaboración con la existencia del ordenador, obteniéndose como producto final, dibujos en 2D (planos, secciones, elevaciones) de la estructura diseñada de manera simbólica. (Pérez, 2019, pág. 20)

Implementar la metodología tradicional consiste en desglosar el desarrollo de los proyectos en equipos de trabajo, donde cada equipo trabaja de forma independiente en la disciplina en que se destacan. Aunque los resultados deben ser estudiados en conjunto, las posibilidades de incurrir en errores de diseño y planeación son inminentes. (Pérez, 2019) revalida este aspecto así:

Esta metodología que revolucionó el mundo de la construcción a partir de los años 70 aproximadamente, si bien conlleva a la realización satisfactoria de los documentos necesarios para elaborar una edificación, es ineficiente debido a que en el proceso se trabaja con equipos independientes y la ocurrencia de interferencias o modificaciones por omisión es alta y realizar estos cambios en los documentos ya elaborados acarrea mucho tiempo y no siempre es exitoso. (p. 21)

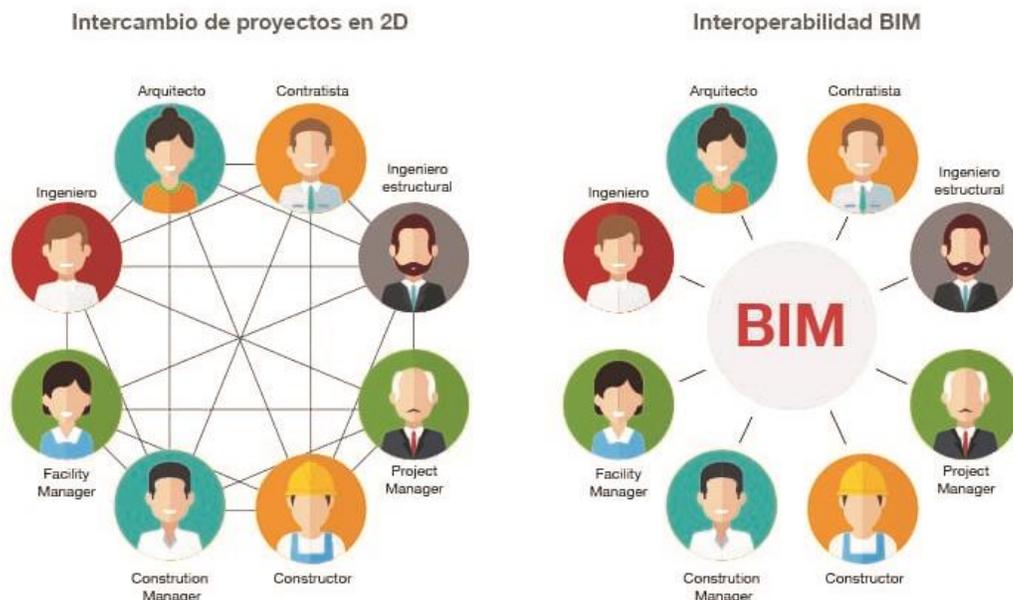
(Salazar, 2017) también confirma la ineficiencia del CAD en este aspecto:

Czmoch y Pękala (2014: 211) afirman que “el diseñador trabaja en CAD sobre los planos del mismo edificio y las colisiones interdisciplinarias (ej. estructura - instalaciones) son inevitables”. Además, aunque el sistema CAD facilita la revisión de inconsistencias, este proceso demanda una gran cantidad de tiempo en donde no siempre se obtiene un resultado totalmente satisfactorio. (p. 17)

De lo anterior parte otra diferencia del CAD respecto a la metodología BIM, la cual al ser colaborativa permite que todos los implicados en la elaboración del proyecto trabajen bajo los mismos modelos, compartiendo datos e información de forma instantánea ya que estos siempre están disponibles y vinculados en el almacenamiento común, generalmente en la nube. En este sentido, se logran reducir en gran medida las interferencias, y en caso de que se presenten, su corrección es oportuna y su actualización es automática en todas las perspectivas (alzados, vistas en planta, 3D, secciones).

Esta ventaja colaborativa entre los integrantes de los proyectos se refiere a la interoperabilidad, que permite la transmisión de información de manera eficaz e instantánea. Las

relaciones entre los participantes en los proyectos en 2D y con metodología BIM se observan en la siguiente figura:

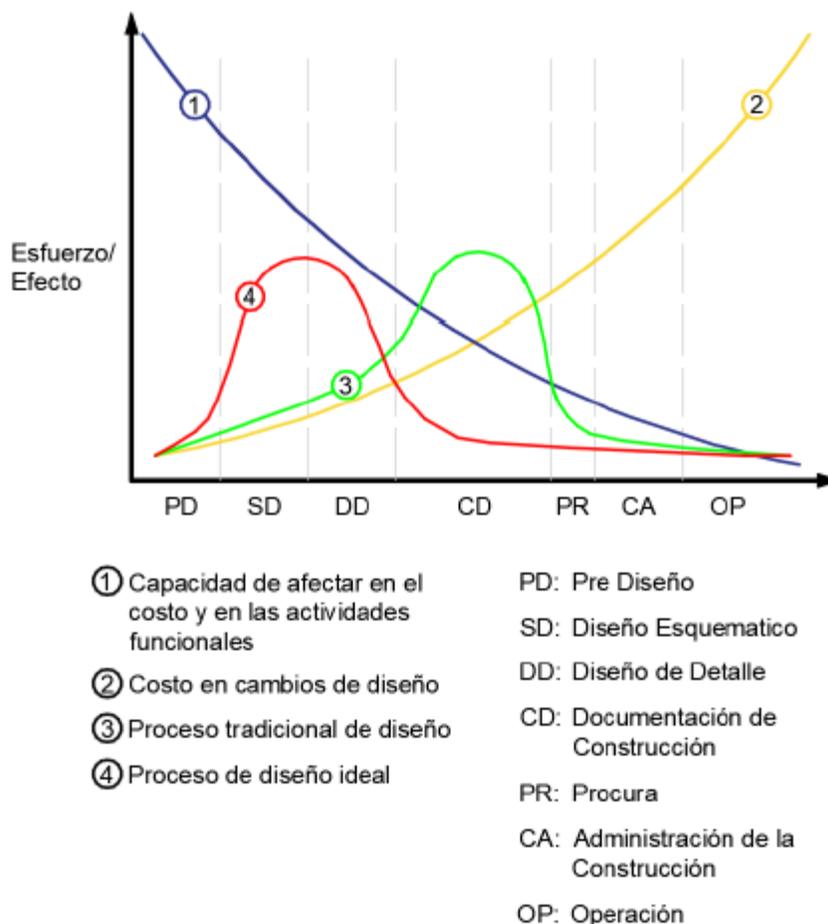


**Figura 8.** Relaciones de información entre los participantes de los proyectos de construcción.

Fuente: (BibLus, 2017)

Se puede extraer que para la metodología CAD (izquierda), las relaciones entre los implicados se tornan complejas pues no hay una herramienta central que facilite la integración de los mismos, así que cada integrante debe relacionarse con los demás de manera independiente. Caso contrario, la interoperabilidad BIM (derecha) plasma que todos trabajan bajo una misma fuente de información, donde se incluyen los modelos, lo que garantiza la prevención de errores en los diseños.

La diferencia entre el flujo de trabajo de las metodologías BIM y CAD se aprecia en la denominada Curva de Mac Leamy mostrada en la siguiente figura:



**Figura 9.** Flujo de Trabajo tradicional vs Metodología BIM. Curva de Mac Leamy.

Fuente: (Pérez, 2019)

La curva de Mac Leamy representa los esfuerzos y cargas de trabajo que se deben invertir en las diferentes etapas de un proyecto. La metodología BIM, siempre orientada a alcanzar la mayor eficiencia del proyecto, se representa por la curva roja. Como se aprecia, los esfuerzos más arduos empleando esta metodología se dan en las etapas iniciales que se comprenden desde el prediseño hasta la documentación de la construcción. Esto se debe a que para implementar la metodología BIM, inicialmente se debe tener total claridad sobre la información del proyecto, es decir los materiales, secciones, equipos, tuberías, topografías, etc., así como la correcta coordinación de las disciplinas involucradas. Todo esto se da con el fin de proceder con la ejecución eficiente del modelo. (Pérez, 2019)

Una vez alcanzado el diseño requerido y obtenida la documentación específica, la curva representa esfuerzos casi nulos. Esto se debe principalmente a que las fases de procura, administración de la construcción y operación consisten únicamente en analizar y tomar decisiones sobre el modelo ya realizado. (Pérez, 2019)

Caso contrario ocurre con la metodología tradicional, curva verde, la cual a simple vista requiere esfuerzos notables desde las fases iniciales y alcanza los mayores esfuerzos en la documentación del proyecto. Principalmente se debe a que esta metodología no cuenta con herramientas que faciliten el desarrollo eficiente de los entregables del proyecto. El trabajo se hace más arduo pues si se deben hacer modificaciones en los planos, debe modificarse uno por uno. Estos cambios, tal como muestra la curva amarilla, determinan que el costo será mayor en cuanto más tarde se realicen. Estas desventajas se justifican con lo siguiente:

Dado que toda la información suministrada al mandante es transmitida en 2D (en papel), este debe poner un esfuerzo considerable para entregar toda la información necesaria al equipo que operará la infraestructura. El proceso toma bastante tiempo, es costoso, propenso a errores y se mantiene como una significativa barrera de operación. (Saldias, 2010, pág. 10)

Para mejorar la consistencia en la documentación es necesario estandarizar los procesos constructivos y administrativos. Según estudios relacionados con la filosofía “Lean Construction”, con procesos consistentes se tiene una menor variabilidad y con esto una mayor productividad en los trabajos y mejores planificaciones con lo que se controlarán mejor los riesgos y se reducirán los costos del proyecto. (Saldias, 2010, pág. 22)

En un estudio desarrollado por (Lozano, Patiño, Gómez, & Torres, 2018), se identificaron los factores principales que afectan el tiempo y costo a nivel internacional, siendo los países en vía de desarrollo los mayores afectados. Dichos factores se muestran en los siguientes listados:

- Factores que inciden en los cambios en los costos de proyecto:
  - Fluctuaciones de la moneda.
  - Condiciones gubernamentales.

- Pago incumplido por parte del dueño del proyecto.
  - Inadecuada supervisión y dirección del proyecto.
  - Mala planeación en presupuesto.
  - Baja productividad de trabajadores.
  - Incumplimiento de subcontratistas.
  - Cambios en los diseños.
  - Falta de comunicación entre las diferentes partes involucradas en los proyectos.
  - Cambios en el alcance del contrato por parte del dueño.
- 
- Factores que inciden en los cambios en los tiempos de proyecto:
    - Incumplimiento y problemas en general con subcontratistas.
    - Calamidades climáticas.
    - Condiciones gubernamentales
    - Cambios en el alcance del contrato por parte del dueño.
    - Escasez de trabajadores.
    - Mano de obra no calificada.
    - Mala planeación y programación por parte del contratista.
    - Falta de comunicación entre las diferentes partes involucradas en los proyectos.
    - Fluctuaciones de la moneda.
    - Cambios en los diseños.
    - Conflictos laborales y huelga.

A nivel nacional a través de un estudio estadístico, (Lozano et al., 2018) llegaron a la siguiente conclusión:

Los cinco aspectos más representativos en la variación del tiempo de ejecución de proyectos en Colombia son la planeación del cronograma, la maquinaria necesaria a tiempo, los cambios en los diseños, las fluctuaciones de la moneda y el sector dentro de la actividad económica. De acuerdo con estos resultados se percibe una tendencia de participación del factor general de planeación, lo cual confirma este factor global como uno de los más influyentes en la variabilidad del tiempo. (p. 142)

De esto se extrae que mejorando la planeación, se disminuyen las variaciones en los tiempos programados. Dichas etapas se vienen desarrollando tradicionalmente con metodología CAD. BIM enmarca la optimización en fases iniciales, centrando sus esfuerzos en la planeación, por lo que es el método adecuado de trabajo para solventar estos problemas.

Con relación a la variación del costo en los proyectos, los cinco factores más influyentes son la falta de materiales necesarios a tiempo, la falta de comunicación entre las partes involucradas, las fluctuaciones de la moneda, las prácticas fraudulentas y el tipo de proyecto. A diferencia de los resultados en el tiempo, para la variable de costo se obtuvo explicación por parte de todos los factores globales y no solamente el factor de planeación, lo que indica que en proyectos de construcción en Colombia, el comportamiento del costo involucra constantemente aspectos importantes de todas las etapas del proyecto. (p. 142)

Como ya se mencionó, BIM no sólo está presente en la fase de diseño, sino también en todo el ciclo de vida del edificio, por lo que además representa solución a los problemas de sobrecostos. La constructora BIM RYME, como empresa pionera en Ocaña, N. de S., destaca que: “el modelo de trabajo con flujo de información BIM (Building Information Modeling), en sus siglas en inglés, permite un control más estricto en el ciclo de vida del proyecto” (BIM RYME, s.f.).

Aunado a lo anterior, (Ocampo, 2014) señala que “una vez se da inicio a la vida del proyecto, la información será perfeccionada constantemente hasta entregar en funcionamiento lo proyectado. (...) Esto no lo puede hacer CAD y eleva los estándares de la gerencia de proyectos” (p. 23).

Como recomendaciones, sería importante reforzar la formación en planificación y programación detallada de proyectos, y durante la etapa constructiva llevar un control minucioso del presupuesto y los pedidos de material para garantizar la continuidad de la obra. Dentro de la planeación, sería también interesante desarrollar e implementar modelos de integración entre los profesionales involucrados, definiendo roles objetivamente y cumpliendo con estos de la manera más aproximada; además sería útil implementar tecnologías de modelación de proyectos que permitan integrar el trabajo de diseño y construcción de los profesionales involucrados y hacerse una idea del resultado final, identificando posibles riesgos. (Lozano et al., 2018, pág. 143)

Abarcando otro aspecto, (Ocampo, 2014) referente a la forma de licitar con metodología tradicional señala:

Una empresa que cuente con un sistema de elaboración de propuestas, diseño y presupuesto basado en tecnología CAD y con apoyo de software para costos y licitaciones puede sentir que cuenta con todas las herramientas para competir e incluso ganar un contrato de gran magnitud con el sector público o privado. Y puede tener razón. Bajo parámetros tradicionales, una licitación puede adjudicarse al menor valor de las propuestas, al valor promedio de las mismas o de acuerdo con una fórmula de análisis que determine la mejor opción para el contratante. Sin embargo, cuando el objeto del contrato se torna complejo e incluye el trabajo simultáneo de varios subcontratistas, ello implica la simultaneidad de redes y obras en puntos críticos del proyecto. Estos sitios son los que generan sobrecostos, adiciones y prórrogas a los términos contratados. El control que se puede tener sobre este imponderable, no determinado generalmente en ambiente CAD, implica un ahorro estimado entre el 10 y el 15% en el costo global de la obra. (p. 20)

A partir de lo anterior, (Ocampo, 2014) afirma que “la eficiencia en el gasto público es estudiada a posteriori por los estamentos de control cuando podría reducirse la incertidumbre en los presupuestos gracias a la gerencia tecnológica informática” (p. 21). Esta incertidumbre en los presupuestos es el resultado de inconsistencias en los diseños, que como establece (Ramírez, 2018)

Una vez se pasa a la etapa de construcción cuando es adjudicada la licitación, aparecen las primeras incompatibilidades en los planos constructivos, destacándose las interferencias entre los diferentes diseños realizados y detalles de construcción incompletos, lo que ha obligado a los constructores a revisar y rectificar estos errores con el proyecto en marcha. (p. 14)

Concluyendo, se constituye BIM como el modelo de trabajo guía para alcanzar la adecuada gestión de los proyectos, ya que permite una mayor comunicación y sincronización de datos e información entre todos los posibles participantes de un proyecto de construcción.

BIM como metodología de trabajo hace parte de los procesos colaborativos que estimulan la coordinación de todos los agentes involucrados en un proyecto que, a diferencia de los procesos tradicionales, proporciona la posibilidad de reducir incoherencias y demás imprevistos

entre los documentos que conforman el proyecto. Mientras en la metodología tradicional los procesos se dan en forma independiente y secuencial de un agente al siguiente, lo cual puede generar conflictos de intereses, para el BIM todos estos agentes pueden involucrarse al mismo tiempo en el mismo proceso ya que garantiza que las herramientas y modelos de trabajo estén al alcance de todos.

Ahora, si hablamos de las ventajas de la metodología CAD sobre la BIM, podría mencionarse que el uso de programas de dibujo en computador, tales como AutoCAD, se muestra más asequible para todos, pues al ser una metodología reconocida y de fácil acceso, permite que cualquier persona con conocimientos básicos de dibujo pueda desempeñarla. Por el contrario, BIM al requerir de programas de mayor exigencia tecnológica, presenta desventaja desde el punto de vista económico, como ejemplo es que para el desarrollo de la presente investigación se debió invertir en computadoras de gran potencia. Además, BIM al incorporar diversos programas para diferentes disciplinas eleva la dificultad de aprendizaje, pues pocas personas se encuentran capacitadas sobre esta implementación.

Es importante aclarar que como señala (Salazar, 2017), el empleo del BIM no anula la utilidad del CAD. A día de hoy, AutoCAD sigue siendo una de las herramientas indispensables para desarrollar proyectos BIM. Por tanto, ambas metodologías van de la mano para alcanzar una mayor eficiencia y calidad en los proyectos de ingeniería y construcción, confirmando que lo que se pretende con la metodología BIM es la mejora continua con la finalidad de facilitar los procesos.

- Ventajas de la implementación CAD:
  - Facilidad de aplicación de software.
  - Mejora la presentación de los entregables de un proyecto.
  - Posibilidad de realizar modelos en 3D.
  - Implementación económica.
  
- Desventajas de la implementación CAD:

- Flujo de trabajo independiente.
  - Imposibilidad de identificar lo que no se ve.
  - Riesgo inherente de errores de diseño.
  - Imposibilita la creación de objetos paramétricos.
- 
- Ventajas de la implementación BIM (Salazar, 2017):
    - Manejo eficiente de la información.
    - Interoperabilidad.
    - Cálculo de cantidades.
    - Detección de interferencias.
    - Reducción de costes y tiempos.
    - Estimación de costos.
    - Flujos de trabajo eficientes.
    - Entendimiento de la secuencia constructiva.
    - Parametrización de los elementos del modelo.
    - Reducción de horas hombre trabajadas.
    - Manejo de proveedores.
    - Ciclo de vida del edificio.
- 
- Desventajas de la implementación BIM (Salazar, 2017):
    - Costo de adopción.
    - Falta de regulación legal.
    - Generación completa de los modelos con altos niveles de precisión.
    - Cambios en las metodologías de trabajo.
    - Resistencia al cambio.
    - Inconsistencias entre los formatos de archivo.

**1.2.4 Casos de estudio relacionados.** Al ser el hito más reciente en la manera de llevar a cabo proyectos de construcción, hay diversos sectores en los que aún no se emplea BIM con regularidad. Por esta razón, se han venido desarrollando trabajos de investigación con la finalidad de establecer las ventajas y beneficios que proporciona esta metodología para la construcción de obras civiles.

(Mojica & Valencia, 2012) señalan que ya se han ejecutado diversos proyectos en el país empleando metodología BIM.

Se han modelado edificios de vivienda como el proyecto Arvore en Medellín consistente en la construcción de dos edificios aporricados de 15 pisos y 3 sótanos terminados a mediados del año 2012. También se han modelado edificios industriales como la planta de Familia en Cajicá cuya construcción estaba en fase final para abril del mismo año. Dentro de los edificios institucionales se implementó BIM en la clínica Comfenalco que terminó su construcción en el año 2011, de estructura aporricada consta de un edificio de clínica y otro de consultorios (Salazar, 2012). (p. 34)

Así mismo, establecen que los beneficios del BIM ya se han podido evidenciar en algunos proyectos en el país:

Es destacable el esfuerzo que ha hecho la empresa Constructora Concreto por implementar estas herramientas en el desarrollo de sus proyectos, específicamente Autodesk Revit, Autodesk Navisworks y Autodesk SketchUp para generar modelos 4D. En la construcción del Intercambiador Vial Gilberto Echeverry Mejía en Medellín (puente atirantado de 580 metros de longitud y ocho carriles en concreto postensado) lograron hacer control de avance de obra a través de simulaciones. Adicionalmente las simulaciones permitieron hacer un análisis de tráfico sobre la avenida Las Vegas para generar un plan de manejo que evitara suspender la movilidad durante la fase constructiva del proyecto. “Se modeló el tramo atirantado que sirvió para entender mejor su geometría, planear y verificar la secuencia de construcción y se identificaron incompatibilidades en diseños, la mayoría del trabajo de simulación fue hecha antes del inicio del proyecto.” (Salazar, C.,2012). También la modelación permitió detectar incompatibilidades entre diferentes disciplinas de diseño y facilitó el análisis topográfico del sitio de emplazamiento de la obra. (p. 33)

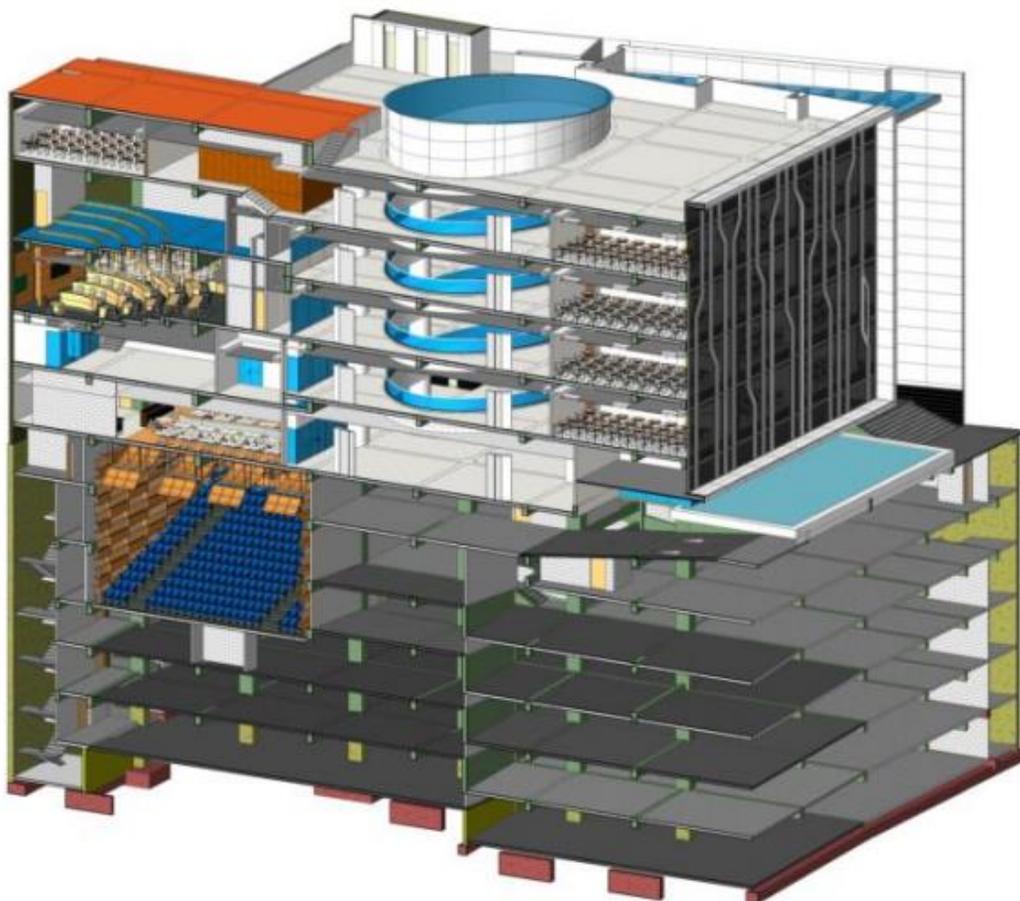
***Proyecto Edificio Educativo Universidad del Pacífico.*** La metodología BIM, usada de forma adecuada, representa una disminución notoria de los costes y retrasos en las obras pues se pueden prevenir a edades tempranas los conflictos entre los diferentes sistemas que componen un edificio. Estos resultados favorables se pueden apreciar en el estudio de caso correspondiente al proyecto Edificio Educativo Universidad del Pacífico ubicado en Lima, Perú realizado por el ingeniero Paul Vladimir Alcántara Rojas en su trabajo de grado llamado “Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM”.

Para el análisis de este caso de estudio, durante la construcción del edificio se realizaron los modelos BIM-3D de arquitectura y estructuras. Además, una empresa extranjera realizó el modelado de 4 sistemas de instalaciones: Sistema de Agua Contra Incendio, Instalaciones Sanitarias, Instalaciones Eléctricas, Instalaciones de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado. Lo anterior por solicitud de la Gerencia del Proyecto. (Alcántara, 2013)

Como resultados (Alcántara, 2013) señala:

El modelado en BIM-3D de la estructura y arquitectura de la edificación se terminó en dos semanas y permitió detectar, en una primera etapa, un reporte de 37 incompatibilidades en los planos de estas especialidades, y posteriormente otro reporte adicional de 42 incompatibilidades que fueron detectadas incluyendo el modelado de la arquitectura detallada, mobiliario y equipamiento. Las incompatibilidades en los documentos de diseño e ingeniería fueron alertadas y corregidas antes de llegar a obra, por lo que todos estos reportes se enviaron y resolvieron formalmente por medio de Solicitudes de Información (RFI) y otros tantos fueron resueltos por medio de reuniones de coordinación con participación de los distintos proyectistas, comprobando que es la forma más eficiente de resolver estos problemas. (p. 98)

De lo anterior se ratifica que la metodología BIM garantiza la reducción significativa de conflictos entre los diseños a edades tempranas, permitiendo tomar las medidas preventivas necesarias para evitar afectaciones al desarrollo de la obra.



**Figura 10.** Modelo BIM 3D integrado del proyecto Universidad del Pacífico.

Fuente: (Alcántara, 2013)

*Proyecto Edificio Multifamiliar “Ópalo” en Manizales, Colombia.* Esta obra consta de una edificación de 6 pisos con 24 apartamentos. El análisis principal de este proyecto, establecido por el Ingeniero Manuel Fernando Salazar Alzate en su trabajo final de máster “Impacto económico del uso de BIM en el desarrollo de proyectos de construcción en la ciudad de Manizales”, es el siguiente:

Se identificarán cuáles son los conflictos más comunes que se presentan en la ejecución de obra en los proyectos de construcción de la ciudad de Manizales, se analizará la variación que produjeron en el tema de los costos y se establecerá cuáles de los errores pudieron haberse evitado si se hubiera utilizado la metodología BIM para coordinar el proyecto, cuantificando el impacto de su implementación en el desarrollo del proceso. (Salazar, 2017, pág. 76)

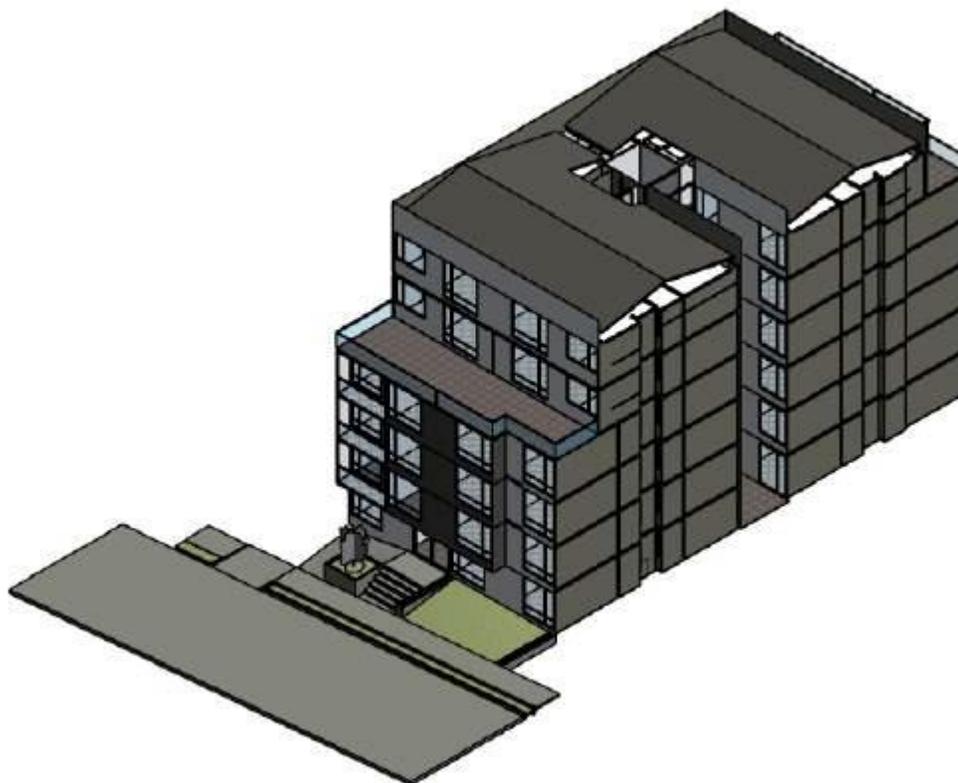
Para el desarrollo del proyecto, se modelaron los sistemas arquitectónico, estructural, de instalaciones eléctricas y de comunicaciones. Una vez obtenidos todos los informes de interferencias encontradas entre los modelos, (Salazar, 2017) realizó la comparación con las presentadas durante la construcción del edificio expresando lo siguiente:

El seguimiento de obra se hizo hasta que la obra terminó completamente el capítulo de estructura, lo que permitió encontrar 21 cambios o inconsistencias durante el proceso de ejecución de la misma. Cabe resaltar que aunque todas se hubieran podido evitar mediante la implementación de la metodología de trabajo BIM, estas inconsistencias son diferentes a las que se presentaron en las “interferencias teóricas”, pues fueron medidas y cuantificadas de manera tangible en la obra. En total los 21 cambios tuvieron un costo adicional de \$4,640,266 pesos colombianos y se invirtieron 54.66 horas más para ejecutar las actividades para realizar dicha intervención. (p. 86)

Además, (Salazar, 2017) señala que:

La mayor parte de los cambios o inconsistencias que se presentaron en la obra estaban asociados a problemas de diseño con un **61.9%** del total de las causas, seguido en menor porcentaje por los cambios en la etapa de construcción con un **28.57%**. (p. 87)

Se destaca, por tanto, que la corrección de estos conflictos en las fases iniciales no sólo evita sobrecostos, también reduce los retrasos que pudieran presentarse en la ejecución de la obra. Por lo tanto, la implementación BIM representa la manera óptima de controlar todos esos percances.



**Figura 11.** Modelo arquitectónico de Revit del edificio “Ópalo”.

Fuente: (Salazar, 2017)

***Proyecto Vivienda Unifamiliar Aislada en Godelleta.*** Este trabajo de investigación permite inferir que la metodología BIM puede ser desarrollada para proyectos de cualquier magnitud. Fue llevado a cabo por el arquitecto Sergio Moral Saiz para la Universidad Politécnica de Valencia. En este estudio, se implementaron herramientas BIM a una vivienda unifamiliar aislada con una superficie total de 1315,35 m<sup>2</sup>, ubicada en Godelleta, Valencia en España. (Moral, 2018) señala que se utilizó ArchiCAD 20 de Graphisoft para desarrollar el modelado de la vivienda, y CineRender de MAXON y Lumion 8 como motores de renderizado, lo que evidencia que dada la gran cantidad de herramientas tecnológicas involucradas en BIM, se puede elegir la que más convenga para alcanzar los objetivos deseados.

(Moral, 2018) establece que se inició el modelado con un LOD 100 hasta alcanzar el LOD 300, donde ya se adiciona información al proyecto, “ya que la clave del sistema BIM está precisamente en la gestión de la información” (p. 34). Uno de los objetivos de este estudio era

analizar algunas incongruencias presentadas en el proyecto de origen, el cual ya estaba construido, determinando las pérdidas económicas y temporales que estas incongruencias podrían generar. Para desarrollar dicho análisis se implementaron unas fichas de incongruencias.

Como conclusiones de su investigación, (Moral, 2018) afirma:

Mediante tecnología BIM la penalización de tiempo en corregir las incongruencias es mínima. Por el contrario las penalizaciones durante la fase de ejecución presentan un grave problema, paralizando la obra y afectando a otros elementos ejecutados y a una mayor cantidad de agentes. (p. 99)

Se puede afirmar que la tecnología BIM es una herramienta útil y funcional tanto en nueva construcción como a lo largo de toda la vida útil del proyecto. Al tratarse de un único modelo contenedor de toda la información todos los archivos provienen desde un mismo punto de conexión central, evitando errores en gran medida y facilitando la comunicación entre los diferentes agentes intervinientes del proyecto. (p. 99)

Como ya se había mencionado, la metodología BIM al ser colaborativa, integra todas las disciplinas y funciones requeridas para alcanzar un mayor grado de éxito en los proyectos.



**Figura 12.** Perspectivas render de las fachadas de la vivienda.

Fuente: (Moral, 2018)

### 1.3. Marco histórico

Desde inicios de la construcción en el mundo, se ha pretendido optimizar los procesos en fases de planeación y diseño garantizando una mayor eficiencia en obra, reduciendo los tiempos de su ejecución y los costos que los cambios no previstos puedan generar.

(Baldasano, Gassó, & Colina, 2001) destacan que hace 43 años los dibujos se realizaban a lápiz y papel. Además, indican que:

Quando se precisaba realizar cambios, era necesario borrar y volver a dibujar. Si el cambio era importante, se repetía el dibujo por completo. Si un cambio afectaba a otros documentos se tenía que buscar a mano en cada uno de ellos y modificarlos. (p. 1)

A raíz de la necesidad de integrar metodologías y procesos que permitan mejorar el desarrollo de los proyectos, las nuevas tecnologías juegan un papel importante.

(...) por ejemplo las herramientas: CAD, CAM, CAE y Windchill, permiten compartir información, analizar y procesar datos. Además promueven la integración de proyectos por medio de bases de datos y sistemas de información, optimizando el diseño. La construcción de este sistema no es rápida ni de bajo costo, pero permite asegurar el almacenamiento de información en forma lógica y consistente. (Restrepo, 2009, pág. 41)

La metodología CAD es la que mayor impacto tuvo en el mundo desde su aparición ya que en primera instancia mejoraba los diseños, pues mediante la herramienta se obtenían planos precisos y confiables. “Las aplicaciones CAD imitan los procesos tradicionales con lápiz y papel, como líneas o tramas, pero con mayor precisión” (Montilla, 2017).

El primer CAD data de los años 50 para las Fuerzas Aéreas de USA. El primer sistema de gráficos, el SAGE (Semi Automatic Ground Environment) un sistema de defensa aérea, que fue empleado para visualizar datos de radar, fue desarrollado en colaboración con el MIT. (Baldasano et al., 2001, p. 2)

Referente a los primeros CAD comerciales, (Mojica & Valencia, 2012) refieren que:

La historia de CAD comenzó en 1957 cuando el Dr. Patrick J. Hanratty desarrolla el primer software comercial CAM (Computer-Aided Machining). Posteriormente en 1963 aparece el primer software CAD con interfaz gráfica para el usuario bajo el nombre de “Sketchpad” creado por Iván E. Sutherland en los laboratorios Lincoln del MIT (Silva, 2011). (p. 24)

(Mojica & Valencia, 2012) además, establecen que “Con la considerable disminución de los costos de ordenadores a lo largo de la década de 1970 los sectores industriales: oficinas de arquitectura, empresas de ingeniería y Construcción comenzaron a implementar estas tecnologías de diseño 2D.” (p. 25)

Paralelamente en Europa la industria de la construcción comenzaba a conocer la utilización práctica de los sistemas de computador para obtención de cantidades de obra y generación de documentos de obra. Se gestaron las bases de los sistemas CAD que posibilitaban la integración entre el dibujo 2D y la generación de documentos (cantidades, presupuesto, etc.). (Mojica & Valencia, 2012, pág. 25)

(Blanco, 2018) señala que las bases sólidas para el dibujo en 3D, característico en la metodología BIM, se dieron en los años 70: “Pero el paso más importante fue en 1973 porque ya iniciaba la gestión de figuras en 3D sólidas: tres investigaciones distintas en Cambridge, Stanford y Rochester emiten la primera generación de software de modelado sólido” (p. 20)

Por su parte, (Mojica & Valencia, 2012) para el mismo año confirman:

Hacia 1973 ya era posible modelar figuras 3D complejas en computadores y en 1979 Mike y Tom Lazear desarrollaron el primer software CAD (diseño asistido por computador por sus siglas en inglés) para PC. Gracias a estos avances y a la reducción de los costos de ordenadores y software que hubo en los años 80, impulsados principalmente por la casa Autodesk (que se fundó en 1982 con el propósito de generar programas CAD que costaran menos de US \$ 1000) (Tjell, 2010). (p. 26)

Puede establecerse entonces que el primer paso hacia el surgimiento del BIM se dio a partir de la capacidad de realizar planos 3D en los años 70. En el año 1975, el profesor del Georgia Tech Institute of Technology, Charles M. Eastman, publica su concepto “Building Description System” cercano a lo que es el BIM en su libro “The Use of Computer Instead of Drawings in Building Design”:

Muchos de los costos de diseño y construcción provienen de diseños de dibujo como una forma de informar los registros de construcción. Como alternativa, este documento describe el diseño de un sistema informático útil para almacenar y manipular la información del proyecto en un detalle que permite el diseño, la construcción y el análisis operativo. Un edificio se considera como la composición espacial de un conjunto de partes. El sistema, conocido como el Sistema descriptivo del edificio.<sup>2</sup> (Blanco, 2018, pág. 21)

Según (Blanco, 2018), Eastman pretendía implementar modelos paramétricos, “es decir un sistema de construcción descriptivo, que se obtiene al agregar elementos gráficos en 3D capaces de contener información geométrica, pero también relacionado con materiales, lo cual era muy adelantado para su época” (p. 21). (Monfort, 2014) detalla en los siguientes compendios el surgimiento de BIM como definición:

Sin embargo, quien popularizó este término, unos años más tarde, para la representación digital de procesos de construcción, con el objetivo de intercambiar información en formato digital fue Jerry Laiserin. No obstante, hay quien defiende que la primera persona en emplear el acrónimo de modelado de información de construcción” fue Phil Bernstein. (p. 22)

Durante la década de 1970 y principios de 1980 se realizaron trabajos de investigación y desarrollo sobre esta tecnología. Durante la década de 1980 se designó esta metodología como “Building Product Models” (La construcción de modelos de producto) en EE.UU, u como “Product Information Models” (Modelos de Información de Producto) en Europa, términos que acabaron fusionándose y derivando en “Building Information Model”. (Monfort, 2014, pág. 23)

Mientras la industria automovilística empezó a implementar modelos CAD desde la década de los 70 aprovechando los beneficios que este presentaba, la construcción se aisló y empezó a

adoptar los modelos CAD en la primera mitad de los años 80 con la llegada de las computadoras personales. (Blanco, 2018)

Históricamente se puede situar el surgimiento del CAD como herramienta de alta demanda con el nacimiento de la empresa Autodesk en el año 1982, cuyo objetivo se centró en desarrollar CAD a un precio competitivo (...). Para el año 1997 se identifican cinco grandes empresas desarrolladoras de este tipo de software: Autodesk Inc., Product Development Cia., Dassault Systems, SDRC y EDS/Intergraph; con un volumen de mercado que rondaba los 100 mil millones de dólares en Estados Unidos y 25 mil millones de euros en Europa (Argote, 2001). (Chaur, 2004, pág. 73)

“En el año 1984, se crea el ISO STEP, el cual regula la forma Estandár del Modelo de Datos para el intercambio de productos y surge ArchiCAD, primer programa BIM.” (Seys, s.f.)

La primera publicación en la que apareció el término Building Information Modeling (BIM) con el significado que se le da actualmente fue en un paper titulado “Three-dimensional Input and Visualization” en 1986 escrito por Robert Aish de la compañía GMW Computers Ltd. En este documento se expusieron las bases de lo que se había desarrollado hasta entonces en lo referente a BIM, el profesor Laiserin nombra: modelación 3D, extracción automática de dibujos, componentes paramétricos inteligentes (superando la mentalidad del dibujo plano cuyos elementos carecen de parámetros diferentes a su geometría en el plano de visualización); bases de datos que se relacionan entre si y funcionales para múltiples proyectos, procesos de construcción concebidos por fases temporales definidas, etc. Para esta época la compañía GMW había creado el software RUCAPS, herramienta que permitió a Aish presentar un caso de estudio en la que se modeló la terminal 3 del aeropuerto Heathrow de Londres para un proyecto de remodelación (Mitchell, 1974). (Mojica & Valencia, 2012, pág. 27)

Continuando con los primeros referentes de aplicación del concepto BIM, así indica (Monfort, 2014):

...fue la empresa húngara Graphisoft la primera en aplicar en concepto BIM bajo el nombre Virtual Building (Edificio virtual) desde 1987 en su programa ArchiCAD, el cual es reconocido como el primer software de CAD para computadora personal capaz de crear tanto dibujos 2D como en 3D. (p. 23)

“Poco después de que Graphisoft empezara a vender sus primeras licencias, nace en 1985 Parametric Technology Corporation (PTC) y lanza la primera versión de Pro/Engineer en 1988. Siendo este el primer programa CAD que utiliza un modelado paramétrico” (Pérez, 2019, pág. 17)

Aunque a finales de la década de los 90 ya existían unas bases conceptuales y se utilizaba una terminología específica para BIM, el esquema de concepción y construcción de los proyectos se seguía desarrollando en mayor medida con herramientas basadas en mesas de dibujo virtuales, es decir, con AutoCAD. (Salazar, 2017, pág. 14)

En el año 2000 surge Autodesk Revit, uno de los programas BIM con mayores índices de uso en el mundo. La incursión de Autodesk Revit para la planeación de proyectos de construcción estableció bases claras para asentar a BIM como la metodología de trabajo más ventajosa en la construcción. Así lo sostiene (Salazar, 2017):

Ya para el año 2000 se empezaron a realizar proyectos pilotos que utilizaban BIM en todas sus fases de diseño, y en consecuencia, “las principales líneas de investigación se centraron en la mejora de la planificación previa y el diseño, detección de conflictos, la visualización, la cuantificación, determinación de costos y gestión de datos” (Volk et al., 2014: 110). (p. 14)

Autodesk por su parte, empezó a utilizar el concepto BIM en su tecnología años más tarde, en 2002 con la compra de la empresa Revit Technology Corporation. Hoy en día son muchas las compañías que ofrecen estas tecnologías entre las que destacan: Autodesk (Revit), Graphisoft (ArchiCAD), Nemetschek (Allplan), Tekla y Bentley System. (Monfort, 2014, pág. 23)

Lo que ocasionó que Revit revolucionara el mundo BIM, fue la capacidad de trabajo en un entorno de programación visual para crear familias paramétricas y permitir agregar una nueva dimensión a un componente, el tiempo, generando así modelos de cuatro dimensiones. (Pérez, 2019, pág. 18)

“En 2005 se organizó la primera conferencia sobre BIM dirigido tanto al sector académico como industrial. Fue en esta conferencia que surgió la idea de emprender la escritura de un manual de BIM publicado tres años más tarde” (Mojica & Valencia, 2012, pág. 29).

“Solo hasta el 2007 se logró integrar las cantidades de obra a la programación para tener simulaciones reales de los procesos constructivos de los proyectos” (Salazar, 2017, pág. 14). Además, menciona las características que hacen de la metodología BIM el modelo de trabajo más eficiente en la actualidad:

Se establecen entonces las bases para realizar un modelo con características paramétricas, en donde además de contar con las formas geométricas simples del modelo en 3D, pueden incorporarse datos reales (como por ejemplo propiedades de materiales, costos unitarios, tiempos de instalación) que facilitan la concepción integral de los proyectos de construcción. La incorporación de estos nuevos parámetros a los modelos genera nuevas dimensiones adicionales a la 3D, en donde además propiedades geométricas tridimensionales del proyecto, se puede incluir la programación de obra, es decir el tiempo (4D), el espacio físico y el costo (5D), el ciclo de vida del proyecto con los análisis de impacto al medio ambiente como la eficiencia energética (6D), y el mantenimiento o Facility Management que permite el control logístico del proyecto durante su vida útil (7D). (Salazar, 2017, pág. 149)

En 2009, McGraw Hill construction, un editor de información del sector de la construcción en los Estados Unidos y Canadá, presentó el estudio SmartMarket Report, the business value of BIM, en el cual dio a conocer un crecimiento del uso de BIM en las empresas del sector en Norteamérica, que pasó de un 28% en 2007 a un 48% para 2009, lo que implica un crecimiento de 71% en dos años. Sin embargo, entre sus usuarios el 48% considera que tan solo se está utilizando parcialmente lo mucho que BIM puede dar; un 45% lo aprovecha, pero sabe que aún hay más; y tan solo un 3% trabaja BIM en toda su capacidad. (Sánchez, Emilio, & Botero, 2015, pág. 94)

Para el año 2012 BIM lleva más de una década en el mercado y profesionales involucrados en diversas industrias implementan herramientas BIM para la ejecución de sus labores; su crecimiento técnico ha sido mucho más acelerado que su incorporación práctica en la industria. (Mojica & Valencia, 2012, pág. 30)

En la actualidad, la metodología BIM es considerada la nueva gran revolución referente al modelado y manejo de datos para proyectos de construcción pues facilita todos los procesos en las fases de diseño y planeación a través de softwares, así como en el seguimiento y control del ciclo de vida de los edificios. Como modelo de trabajo, ha representado ventajas considerables para la obtención de proyectos de calidad; esto se ha evidenciado en la gran acogida que BIM

tiene actualmente en los países desarrollados, donde ya se encuentran reglamentaciones y su uso es obligatorio.

**1.3.1 Historia de Autodesk Revit.** Revit es uno de los programas BIM más utilizados en la actualidad para la planeación y diseño de proyectos de construcción, ya que permite elaborar modelos a partir de objetos paramétricos y pertenece a la empresa Autodesk, que a su vez es propietaria de AutoCAD, el software de dibujo asistido más reconocido en el mundo lo que posibilita trabajar conjuntamente entre ellos.

Revit surgió de la mente de Leonid Raiz, el trabajador de una empresa que producía el software “Pro-Engineer”, un programa paramétrico para objetos mecánicos. Partiendo de la completa bi-direccionalidad, es decir, la relación integral entre todas las vistas y entre los datos y los gráficos, Raiz fundó “Charles River Software” en octubre de 1997, la cual operaba desde la sala de estar de su vivienda situada sobre una pizzería. (ESDIMA, s.f.)

Meses después, en febrero de 1998, se unió Irwin Jungreiz, procedente de la misma empresa que Leonid Raiz. Ambos son considerados los creadores de Revit. Buscaron inversores, contrataron arquitectos y programadores y cambiaron el nombre de la compañía por “Revit Corporation”. En abril del año 2000 lanzaron la primera versión de este software, Revit 1.0. (ESDIMA, s.f.)

En cuanto al origen del nombre (EcuRed, 2013) establece ““Revit”, que según sus creadores significa “Revise Instantly” (cambie, actualícelo, inmediatamente) o también se ha dicho que es “Revise it” o hasta “Revolutionize it”, o sea “Revoluciónelo” (...).”

“El software de diseño impulsado por parámetros no era nuevo, pero Revit trajo un enfoque de base de datos donde las vistas en 2D, 3D o programación se actualizan como elementos únicos de la base de datos” (Blanco, 2018, pág. 23). Por esto, para el año 2000 ya Revit representaba una amenaza para Autodesk que seguía implementando su producto Architectural Desktop, pero no fue sino hasta el 2002 que Autodesk compra Revit por un costo de 133 millones de dólares, tal como indica (Monfort, 2014) “A pesar de existir desde 1997, se

popularizó en 2002 cuando su empresa desarrolladora, Revit Technology Corporation fue comprada por Autodesk Inc.” (p. 26).

La llegada de la metodología BIM significó que Revit Building realmente necesitaba un complemento estructural y MEP (mechanical, electrical and piping). Revit Structure llegó en 2005 y Mechanical and Electrical llegó en 2006. Hubo inicios y paradas en Revit MEP a medida que se desarrollaba, aunque la base de Revit se hizo para arquitectos. Tratar de hacer que esa base funcione para los ingenieros no era o no es un ajuste natural. En 2008 fue utilizable; en 2012 parecía alcanzar su punto máximo, Revit se estaba preparando para ir a una solución de caja única en 2013, donde todos los módulos de Revit se vendieron en una sola versión. (Blanco, 2018, pág. 24)

A partir de esto, las actualizaciones del software han sido recurrentes, presentándose una nueva versión para cada año.

### **1.3.2 Historia de Navisworks**

“Hace 27 años nació en la ciudad británica de Sheffield (Inglaterra) una de las principales empresas dedicadas a desarrollar software avanzado de gráficos por ordenador en 3D: LightWork” (SEED, 2016).

Trece años más tarde esta hizo a un lado su división NavisWorks y la convirtió en una compañía independiente, NavisWorks Ltd, que estaría enfocada por completo en el desarrollo del mercado de la comunicación, la visualización y la navegación de los diseños 3D en los sectores de arquitectura, ingeniería y construcción. (SEED, 2016)

“Fue así como crearon JetStream, un software que consiste en un paquete de revisión de diseño 3D para Microsoft Windows. Este paquete es usado para complementar programas de diseño en 3D como: Autodesk Revit, AutoCAD y MicroStation, etc” (SEED, 2016).

Autodesk adquirió JetStream el 1 de junio de 2007 y volvió a llamarlo Navisworks. Con esta compra, Autodesk reforzó su liderazgo en la oferta de soluciones 3D de

arquitectura, ingeniería y construcción e incrementó la interoperabilidad de su software con los diferentes formatos de archivo existentes. (SEED, 2016)

#### 1.4. Marco legal

La implementación de la metodología BIM está alcanzando una expansión notable en el mundo. Cada vez son más las empresas y organizaciones que la utilizan debido a las ventajas que esta proporciona. Sin embargo, sólo algunos países con alto desarrollo han regulado el uso de esta metodología de trabajo, con la finalidad de que todos los proyectos se encuentren vinculados al desarrollo BIM.



**Figura 13.** Visión de adopción de BIM en el mundo.

Fuente: (EUBIM Taskgroup, 2017)

Así como han proliferado las compañías creadores de software y los estudios avanzan en lo referente al desarrollo de metodologías que implementan herramientas BIM

para lograr procesos de construcción cada vez más sólidos, también ha sido necesaria la aparición de entidades reguladoras. Entidades encargadas de certificar profesionales y de generar definiciones prácticas que permitan calificar aplicaciones de BIM. Es el caso de la certificación IFC (por la alianza internacional para la interoperabilidad), The National BIM Standard en Estados Unidos y el IFC Code Checking View en Singapur. Se busca a través de estas entidades que la aplicación de BIM sea correcta y provechosa para las diferentes industrias y procesos en los que se pueda aplicar (Eastman et al., 2010). (Mojica & Valencia, 2012, pág. 28)

Indagando en la reglamentación del BIM, (Olatunji, 2011) destaca que The American Institute of Architects (AIA) fue una de las primeras organizaciones en referirse y documentar aspectos legales para sistemas de diseño digital abarcando la metodología BIM. Esta especifica lo siguiente:

In contributing to content of the Model [BIM], Model Element Author [every participant in BIM integrated system] does not convey any ownership rights in the content provided or in the software used to generate the content. Unless otherwise granted in separate license, any subsequent Model Element Author's and Model User's right to use, modify or further transmit the model specifically limited to the design and construction of the project, and nothing contained in this Exhibit conveys any other right to use the Model for another purpose. (AIA, 2008). (Olatunji, 2011, pág. 691)

Lo anterior establece que, al ser proyectos colaborativos, ninguna de las partes involucradas en el desarrollo y modelación puede otorgarse derechos sobre el mismo. En su lugar, (Olatunji, 2011) afirma:

(Bedrick, 2006) argumentó que, dado que el modelo BIM es un producto de colaboración, la propiedad del resultado final (es decir, el modelo de diseño) pertenece al cliente en lugar de la propiedad individual de las entradas de los diseñadores como se puede obtener en los sistemas convencionales. (p. 691)

(Olatunji, 2011) en contraposición, también señala lo siguiente: “Sin embargo, no muchos estudios están de acuerdo con esta filosofía de AIA sobre la propiedad del modelo, y varios informes han cuestionado que esto podría tener ciertas consecuencias insatisfactorias para el cliente” (p. 691).

Apoyando lo anterior, (Mojica & Valencia, 2012) citan que:

(...) otras perspectivas del problema indican que la visión del cliente como dueño del modelo permite a los equipos de diseño deshacerse de los riesgos y responsabilidades por errores de diseño en los modelos y esto genera perjuicio notable para los clientes (Dean et al., 2009). (p. 30)

En cuanto a la legalidad de BIM a nivel internacional, (Pérez, 2019) expresa que:

A nivel internacional la regularización de un modelo BIM recae en el subcomité ISO/TC 59/SC13, Edificación y obra civil. Organización de la información de los trabajos de construcción. Con la función principal de permitir el intercambio de información a todo lo largo de la vida del proyecto. (p. 49)

Algunas de las normativas referidas a este subcomité son la ISO/TS 12911, ISO 16757-1, ISO 12006-2, ISO 12006-3 y la ISO 16354.

Así mismo, BuildingSMART es una organización sin ánimo de lucro que promueve el uso de estándares como OpenBIM.

Esta organización tiene presencia a nivel mundial y ha desarrollado una metodología de trabajo basada en capítulos, como organizaciones nacionales de membresía que comparten la visión y los objetivos de buildingSMART, estos son (26), Capítulo Alemania, Australasia, Austria, Benelux (Bélgica, Países Bajos y Luxemburgo), Canadá, China, Estados Unidos de América, España, Francia, Italia, Japón, Corea del Sur, Nórdico (Dinamarca, Finlandia, Suecia), Noruega, Rusia, Reino Unido e Irlanda, Singapur, Suiza. (Pérez, 2019, pág. 51)

Países donde se desarrollan obras de gran envergadura ya consideran a BIM como uno de los procesos obligatorios para la planeación y seguimiento de proyectos de construcción. “En Estados Unidos, BIM es requerido en todos los proyectos del gobierno desde 2007” (Monfort, 2014, pág. 24).

Aunque el mayor porcentaje de éxito en la implementación de BIM está ligado al apoyo gubernamental, existen países en donde la implementación de dicha metodología de trabajo se ha dado con mayor fuerza desde el sector privado. Uno de estos casos es Emiratos Árabes Unidos, en donde se evidencia un claro uso de software y modelos de información como una herramienta fundamental de diseño, buscando innovar y desafiar los límites constructivos conocidos. (Salazar, 2017, pág. 26)

A continuación, se detalla la situación de la reglamentación del BIM en el mundo.

**1.4.1 Norteamérica.** En el caso de Estados Unidos de América, aunque por su condición de país estatal es complejo establecer un nivel de implementación BIM para todo el país, (Pérez, 2019) afirma:

Actualmente la normativa que rige el uso del BIM en este país es la Norma Nacional BIM (national BIM standard) realizada en asociación con el Instituto Nacional de Ciencias de la construcción y buildingSMART, actualmente en su versión 3 (29). (p. 51)

(Alcántara, 2013) también precisa que:

(...) a nivel federal la Administración de Servicios Generales (USGC, U.S. General Services Administration) exige el uso del BIM para todos sus proyectos, del mismo modo el cuerpo de ingenieros del ejército (U. S. Army Corp.) exigen BIM para algunos tipos de sus edificaciones estándar. (p. 17)

El país presentó un incremento del uso del BIM entre el 2007 al 2015 del 28% al 79%. Algunas de las organizaciones que realizan guías de diseño BIM son (Pérez, 2019):

- Guías de diseño AIA (American Institute of Architects).
- Guías de diseño de la GSA (General Services Administration).
- Guías de diseño I2SL (International Institute for Sustainable Laboratories).
- Guías de diseño IFMA (International Facility Management Association).

Con respecto a Canadá, se han creado entes para mejorar el uso coordinado del BIM.

El instituto para el BIM en Canadá (IBC) por sus siglas en inglés, se estableció en 2010 y es el encargado de liderar y facilitar el uso de BIM en el diseño, construcción y gestión del entorno. Este organismo lo conforman Arquitectura de Canadá, la asociación de Compañías Consultoras de Ingeniería, Asociación de Constructores Canadiense, Especificaciones constructivas de Canadá y buildingSMART Canadá entre otros. (Pérez, 2019, pág. 52)

En cuanto a la obligatoriedad de BIM en Canadá, (Pérez, 2019) menciona que “actualmente no es de uso obligatorio, pero con proyecciones de serlo, ya que la industria de arquitectura, ingeniería y contratista (AEC) por sus siglas en inglés, representa una de las mayores fuentes de empleo en el país (28)” (p. 53). Así mismo, afirma que “se estima que el 31% de la industria canadiense está utilizando BIM” (p. 53).

#### **1.4.2 Europa.**

El comité europeo de normalización, en su aparte CEN/TC 442 es el encargado de armonizar el uso de la metodología BIM a nivel europeo, con la intención de desarrollar un conjunto de estándares, y especificaciones que garanticen el uso adecuado de esta metodología. La situación actual de los estándares publicados se refiere únicamente a la adopción de los principales estándares internacionales (ISO) BIM como normas europeas (EN). (25). (Pérez, 2019, pág. 50)

Reino Unido es el que marca el mayor esfuerzo por entes gubernamentales para implementar y acoger la metodología BIM. “La estrategia se empezó a implementar por el gobierno de Reino Unido desde el 2011 con el fin de que en el 2016 todos los proyectos de construcción financiados con dineros públicos se realizaran con BIM” (Salazar, 2017, pág. 25).

Tras la publicación de este plan de implantación, nace el BIM Task Group, grupo financiado por el gobierno cuya función era la de impulsar la adopción de BIM en todo el gobierno, fortaleciendo al sector público para cumplir con las metas establecidas para 2016 (27). (Pérez, 2019, pág. 56)

(Blanco, 2018), refiriéndose al Reino Unido también comenta que:

(...) por medio del Instituto de Normalización del Reino Unido (*BSI – British Standards Institution*), por sus siglas en inglés, emitió una serie de parámetros que tienen como objetivo implementar los procesos BIM a todas las obras públicas en cada fase del proyecto. (p. 45)

Otras instituciones que han orientado hacia la implementación BIM en el Reino Unido son la National Bim Specification (NBS) y el buildingSMART Reino Unido.

En el caso de Noruega, “Statsbygg actúa en nombre del Gobierno de Noruega y es responsable de la construcción, la gestión y desarrollo de la propiedad estatal. Statsbygg gestiona aproximadamente 2,6 millones de metros cuadrados de superficie, en Noruega y en el extranjero” (Sánchez et al., 2015, pág. 95). Además, mencionan que “en 2007, Statsbygg decidió usar BIM para todo el ciclo de vida de sus edificios y ordenó que en 2010 todas las propiedades usaran BIM (Department of industry, innovation, science, research and tertiary education, 2012)” (p. 95).

En el año 2013 emitió el Statsbyggs BIM- manual (34), en este documento se encuentran los requisitos generales que exige esta organización en BIM y mantenimiento de Instalaciones, esta es una empresa de gestión estatal dependiente del Ministerio de Gobierno Local y Modernización, este manual rige las directrices del BIM en el estado. (Pérez, 2019, pág. 57)

(Pérez, 2019) además, refiere que “en 2015 buildingSMART Noruega, publica una guía de diseño BIM (...). Sin embargo, no es hasta 2016 cuando por mandato gubernamental el uso de esta metodología es obligatorio, y en archivos abiertos u openBIM (archivos tipo IFC) (27)” (p. 57)

Para los países miembros de la UE, (Martínez, 2017) menciona:

El parlamento de la Unión Europea, a través de la Directiva 2014/24/UE, empezó a solicitar a los países miembros que modernizaran sus normativas de contratación y licitaciones públicas creyendo oportuno que incorporasen la tecnología BIM con el fin de modernizar y mejorar los procesos (Leon et al., 2016). (pág. 26)

A raíz de lo anterior, “el 14 de julio de 2015, el Ministerio de Fomento constituyó la Comisión para la implantación de la metodología BIM en el sector de la construcción española” (Leon, Sagarna, Mora, Marieta, & Otaduy, 2016, pág. 192).

En Finlandia, “La Confederación de la Industria de la Construcción Finlandesa, en 2002 decide que BIM será el elemento central del desarrollo de la industria de la construcción” (Pérez, 2019, pág. 59). Adicional a esto, la empresa Senate Properties, propiedad del Estado, tal como establece (Sánchez et al., 2015):

(...) llevó a cabo una serie de proyectos piloto para desarrollar y estudiar el uso de BIM; con base en la retroalimentación de estos estudios, decidió exigir el uso de modelos BIM que garanticen el cumplimiento de los estándares IFC en sus proyectos, desde el 1 de octubre de 2007, como primer paso para avanzar hacia un uso más amplio de modelos BIM (Department of industry, innovation, science, research and tertiary education, 2012). (p. 96)

En ese mismo año el senado decide publicar la primera versión de las guías de diseño BIM, las cuales fueron actualizadas en 2012 bajo una normativa llamada Common BIM Requirement 2012 elaboradas por COBIM en participación con buildingSMART Finlandia. (Pérez, 2019)

En Dinamarca, desde el año 2007 el gobierno central estableció que los proyectos con participación estatal de al menos un 50% requerirían el uso de lo que llamaron un estándar digital, en el cual está incluida la aplicación de la metodología de trabajo BIM (BIM Journal, 2012). Por otra parte, en Holanda desde noviembre del 2011 es un requisito obligatorio la utilización de metodología BIM para participar en las licitaciones con el estado, y aclaran que una vez creado el modelo BIM la información se mantendrá disponible permanentemente y debe abarcar todo el ciclo de vida del edificio (BIM journal, 2012). (Sánchez et al., 2015, p. 96)

**1.4.3 Asia.** Los países orientales, donde se ha evidenciado uno de los mayores progresos en la construcción en los últimos años, ya cuentan con leyes obligatorias que regulan la implementación del BIM en la construcción. (Sanz, 2017) señala que:

Desde 2013, los proyectos de Dubai son BIM de manera obligatoria. Singapur tiene una ruta de guía BIM que pretende estandarizar la industria a partir del 2015, que estipula el uso BIM para proyectos de más de 5000 m<sup>2</sup>. China también ha desarrollado una Guía BIM en un Plan Nacional y en 2014 ya desarrollaron una estrategia de implantación BIM, donde se espera que en 2019 un 30% de los proyectos se realicen bajo este estándar. Hong Kong y Taiwan lideran la migración BIM.

Referente a la implementación BIM en Hong Kong:

En 2013 se crea un grupo de trabajo en relación con BIM, en el marco del Consejo de la Industria de la Construcción (CIC) y presidido por la Autoridad de la Vivienda de Hong Kong, en septiembre de 2014, este grupo público la hoja de ruta para la elaboración de proyectos BIM bajo el nombre Hoja de Ruta para la Implementación Estratégica del BIM en la industria de la construcción en Hong Kong de uso obligatorio desde el año 2014 en proyectos públicos (27). (Pérez, 2019, pág. 60)

En China, el uso del BIM es requerido en algunos proyectos públicos. “La metodología BIM es requerida a través del doceavo plan quinquenal nacional (2011-2015) como sugerencia, para el siguiente quinquenio (2016-2020) se plantea desde el Estado como algo mandatorio para fortalecer su adopción” (Pérez, 2019, pág. 62). Lo anterior se da para proyectos de más de 20.000m<sup>2</sup>. Cabe destacar que:

China es uno de los países con mayor incremento en el uso de esta metodología según el informe McGraw Hill Smart market (mercado inteligente), el uso del BIM entre 2015 y 2017 habría aumentado 110% en contratistas y 90% en arquitectos. (28). (Pérez, 2019, pág. 62)

**1.4.4 Oceanía.** En Australia, el BIM no es requisito obligatorio. Sin embargo, el Departamento de Defensa ha ordenado el uso de BIM para los proyectos más importantes. La adopción de esta metodología en el país se incrementó desde el 2012 atribuido al Informe Nacional de la Iniciativa BIM (NBI) publicada por buildingSMART Australasia y la guía Nacional BIM publicada por NATSPEC BIM. (Pérez, 2019)

**1.4.5 Latinoamérica.** Respecto a los países latinos, ninguno cuenta con una normativa BIM legal y obligatoria debido a que esta implementación presenta un progreso lento en la región. Los países precursores de esta implementación son Colombia, Chile y Brasil.



**Figura 14.** Acogida del BIM en Latinoamérica.

Fuente: (Editeca, 2019)

(Pérez, 2019) señala que en Brasil aún no se ha implementado formalmente la metodología, pero ya se está desarrollando la hoja de ruta para su adopción. Desde (2011-2015) se desarrolla la normativa BIM NBR 15965, impulsada para promover las buenas prácticas acerca del proceso y contratación de proyectos BIM. “Esta normativa fue impulsada por la Agencia Brasileña de Desarrollo Industrial, Ministerio de industria, comercio exterior y servicios” (Pérez, 2019, pág. 54). Así mismo, en 2017 se emitió la guía BIM CBIC, la cual expone los fundamentos BIM.

En Chile, la Cámara Chilena de la Construcción (el símil de Capeco en el Perú) desde el año 2007 viene asumiendo el liderazgo para romper la barrera del desconocimiento, promoviendo la difusión del uso del BIM por medio de charlas dictadas gratuitamente. Tres años después, el mismo gobierno aprobó con financiamiento una política de "Implementación y promoción de la tecnología BIM en Chile", a cargo de la

Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) y de siete importantes constructoras de ese país. (Alcántara, 2013, pág. 19)

Además, bajo la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) se creó el BIM fórum Chile en el 2015, referente en sistemas BIM en el país. (Pérez, 2019)

En el caso de Colombia, la implementación de las nuevas metodologías de trabajo que emplean herramientas tecnológicas ha mostrado un avance pausado pero continuo. En cuanto a la reglamentación del BIM en el país, (Salazar, 2017) indica que:

Actualmente no existe una regulación legal para la aplicación de la metodología BIM en el desarrollo de proyectos de construcción, lo cual puede generar conflictos y malos entendidos entre los participantes del proyecto que podrían ocasionar retrasos en las obras de construcción, lo que conlleva en aparición de costos adicionales o incluso demandas, lo que no estimularía la aplicación de la metodología BIM en el mercado actual de la construcción. (p. 24)

(Blanco, 2018) también menciona:

Claramente se puede observar que el mundo se está volcando hacia este tipo de tecnologías, “en Colombia las instituciones del estado no han expresado la intención de involucrar la metodología en proyectos públicos como ocurre en algunos países vecinos”<sup>20</sup> como es el caso de Chile (...). (p. 45)

Sobre esto, debe mencionarse que los aspectos legales son los que más afectan el éxito de la implementación BIM, (Mojica & Valencia, 2012) lo citan así:

Alfred Oluwole soporta esto en su exposición apelando a que la lentitud de BIM para entrar en la industria de la construcción y demás áreas afines radica, de cierta forma, en que en la misma medida que no hay parámetros claros para asignar responsabilidades y tampoco hay claridad sobre la remuneración correcta del trabajo, teniendo en cuenta que para implementar BIM en un proyecto de construcción se debe disponer tanto de los conocimientos propios de la profesión como de habilidad en el manejo de los software (Oluwole, 2010). (p. 30)

Sin embargo, hay ciertos sectores en el país que se han volcado hacia la revolución BIM. (Mojica & Valencia, 2012) sustentan lo siguiente:

Uno de los trabajos que propone una metodología para la implementación de BIM en el ámbito nacional fue presentado en el Encuentro Latinoamericano de Gestión Y Economía de la Construcción (ELAGEC). El trabajo de investigación titulado Plan para Integración del Building Information Modeling - BIM - con Herramientas de Estimación de Costos y Programación de Obra, expone una metodología BIM acondicionada al caso nacional (Castañeda, 2009). (p. 43)

Además, (Mojica & Valencia, 2012) destacan la aparición de empresas de consultoría que implementan BIM en el país:

En Internet se encuentra fácilmente la empresa BIM House que opera en Bogotá y Proinpa, una empresa de Bucaramanga que ofrece servicios de optimización de tiempos de obra y manejo de materiales mediante un proceso que denominan Control Dinámico en Procesos de Construcción (CDPC), este sistema reúne conceptos de Lean Construction (una de las bases fundamentales para la conceptualización de BIM en los años 80) y la Administración Eficiente de Proyectos (Modelo PMI) que implica la generación de un modelo BIM 4D que centralice la información (Proinpa, 2012). (p. 36)

En Ocaña, Norte de Santander la empresa pionera en implementar metodología BIM es la Constructora BIM RYME S.A.S, que ofrece dentro de sus servicios lo siguiente: capacitaciones de Revit Arquitectura, Estructura y MEP, conferencias de implementación BIM y aplicación de metodología para todo tipo de organizaciones públicas o privadas, interventorías y supervisión de proyectos, diseños hidrosanitarios y eléctricos, consultorías y construcción (BIM RYME, s.f.).

De esta forma, Colombia hace parte del grupo de países donde la metodología BIM aún no cuenta con su respectiva reglamentación y su aplicación se limita a pequeños sectores de la construcción.

A continuación, se presenta una recopilación de guías adaptada del sitio oficial de NATSPEC BIM:

**Tabla 2***Guías de implementación BIM alrededor del mundo*

PAÍS	GUÍA	AÑO
Estados Unidos (obligatorio)	BIMForum Level of Development Specification	2013
	University of Southern California BIM Guidelines	2012
	GSFIC BIM Guide	2013
	New York City Department of Design and Construction BIM Guidelines	2012
	Indiana University BIM Guidelines and Standards	2012
	AIA (US) Digital Practice Documents	2012
	Penn State BIM Planning Guide for Facility Owners	2012
	Ohio State BIM Protocol - 2011	2011
	The VA BIM Guide - 2010	2010
	US General Services Administration BIM Guides	2007-2012
	Integrated Project Delivery: A Guide	2007
	National BIM Standards	2007
	Reino Unido (obligatorio)	First Steps to BIM Competence
BIP 2207 Building Information management - A Standard Framework and guide to BS 1192 - 2010		2010
BS 1192 Collaborative production of architectural engineering and construction information - Code of practice - 2007		2007
AEC (UK) BIM Protocol v2.0		2012
Australia (obligatorio para proyectos superiores a 5000m2)		ANZIQS BIM Best Practice Guidelines
	Australia and New Zealand Revit Standards (ANZRS)	2012
	National Guidelines for Digital Modelling	2009
Noruega (obligatorio)	Statsbygg BIM Manual 1.2	2011
Dinamarca (obligatorio)	BIPS 3D Working Method	2007
Singapur (obligatorio para proyectos superiores a 5000m2)	Singapore BIM Guide	2012
Finlandia (obligatorio)	COBIM Common BIM Requirements	2012

**Nota.** La tabla recopila algunas guías para el uso de la metodología BIM en diferentes países del mundo, además de establecer la obligatoriedad de la misma. Fuente: Adaptado de (NATSPEC BIM, s.f.)

## Capítulo 2. Descripción del caso de estudio y herramientas BIM a utilizar

### 2.1 Descripción del proyecto

Para el desarrollo de la presente investigación, se propuso corroborar la información recopilada aplicando la metodología BIM a un caso en particular. El proyecto elegido corresponde al Edificio Puerta de Hierro, que se planificó para ser ubicado en la ciudad de Valledupar, Colombia. El objetivo fue realizar una modelación de acuerdo a los planos CAD suministrados por la empresa, para detectar interferencias entre los sistemas y de esta manera evaluar la incidencia en tiempo y dinero para el control de obra.



**Figura 15.** Modelado de Edificio Puerta de Hierro.

Fuente: Elaboración propia.

La planificación del edificio se desarrolló como una proyección pues hasta el momento no se ha establecido su construcción. Por lo tanto, el presente análisis es meramente comparativo en las fases de diseño y planeación del edificio. El proyecto Puerta de Hierro se diseñó para uso

principalmente residencial, sin embargo, cuenta con zonas comerciales y recreacionales. El terreno requerido según planos suministrados tiene un área aproximada de 3263 m<sup>2</sup>.

Con base en la información brindada, el edificio Puerta de hierro cuenta con 7 pisos. El primer piso posee un área aproximada de 2524,41 m<sup>2</sup> sin incluir zonas exteriores de tránsito, y se distribuye en:

- Zona de aparcamiento resguardada con capacidad para 65 vehículos.
- Aparcamiento externo para 5 vehículos.
- Zona comercial constituida por 4 locales comerciales con un área media de 55,19 m<sup>2</sup>.
- Portería.
- Área recreacional infantil.
- 3 bodegas y cuarto de almacenamiento de basuras.
- Cuarto de planta eléctrica con acceso al cuarto de máquinas subterráneo.

El segundo piso comprende un área de 1392,98 m<sup>2</sup> aproximadamente y es de uso residencial casi en su totalidad; se distribuye en 4 torres de apartamentos, las Torres 1, 2 y 3 cuentan con 4 apartamentos cada una, mientras que la Torre 4 posee 5 apartamentos. Así mismo, se encuentran la administración del edificio y un salón social.

El tercer nivel cuenta con la misma distribución espacial que los pisos 4, 5 y 6, y son de uso enteramente residencial. Tienen un área en planta aproximada de 1382,68 m<sup>2</sup>. Cuentan con las mismas 4 torres de apartamentos, pero a diferencia del segundo piso las Torres 1, 2 y 3 cuentan con 4 apartamentos cada una, mientras que la Torre 4 cuenta con 7 apartamentos.

Por último, el séptimo piso corresponde a la azotea del edificio, y es de uso recreacional. Su área aproximada es de 1502,96 m<sup>2</sup>. Cuenta con un auditorio para eventos con capacidad para 41 personas, una sala de TV apta para 33 personas, gimnasio, ático, y, además, se encuentra una

zona de duchas y de áreas verdes para BBQ y consumo de alimentos. En este nivel también se ubican los tanques de distribución de agua potable.

**2.1.1 Alcance del modelado 3D en BIM del edificio.** Aplicando la metodología BIM a este edificio y tomando como base la información brindada por la fuente del proyecto, principalmente planos de AutoCAD, se modelaron los sistemas arquitectónicos, estructurales (excluyendo aceros pues no se disponía de la información) y las redes hidrosanitarias. Para elaborar estos modelos, se empleó el nivel de desarrollo LOD 350.

## 2.2 Herramientas BIM para edificaciones

BIM al ser una metodología colaborativa asocia un sin número de herramientas informáticas que posibilitan la planeación de proyectos de manera sincronizada y completa. Ejemplo de lo anterior es que, a pesar de que el BIM representa una evolución significativa del CAD, también es posible implementar softwares de esta metodología, tales como AutoCAD, para hacer de la metodología BIM un proceso más eficiente e incluyente.

Autodesk es la compañía con mayor reconocimiento en el mundo sobre creación de marcas comerciales implementadas en el diseño gráfico, además de poseer uno de los programas CAD más utilizados en el mundo, AutoCAD. Al ser un referente, posee en sus catálogos una gama variada de softwares; (Pérez, 2019) destaca los siguientes:

- Para elaborar modelos: Revit (estructural, arquitectura y MEP), Civil 3D (carreteras, movimientos de tierra, etc.)
- Para gestionar modelos: BIM 360.
- Para visualización: Navisworks.
- Para cálculo estructural: Robot Structural.
- Para la elaboración de Renders: 3D max.

Otra de las compañías desarrolladora de programas BIM es el Nemetschek Group. Graphisoft es una de las marcas producidas por este grupo, y dentro de sus programas podemos encontrar ARCHICAD, el cual permite crear modelos arquitectónicos en 3D, navegación panorámica y acercamientos en 2D. Así mismo, agrupa en la misma edición del software las funciones estructurales. Por su parte, para la marca Vectorworks, desarrolladora de software BIM desde 1985, se puede encontrar el software Vectorworks Architecture con capacidad de desarrollar modelos tridimensionales con múltiples vistas de dibujo. (Pérez, 2019)

Bentley es una empresa de desarrollo de software fundada en 1984, enfocada a la creación y gestión de infraestructura de proyectos AEC, e incluye servicios que abarcan todo el ciclo de vida de la estructura, basándose en la metodología OpenBIM. Además, (Pérez, 2019) referente a su software BIM insignia AECOsim, establece que “es un software que integra múltiples disciplinas, arquitectura e ingeniería eléctrica, mecánica y estructural, permitiendo el diseño, análisis y gestión de proyectos, así como la correcta obtención de documentación entregable con toda la información para construcción, ensamblaje y fabricación” (p. 46).

A continuación, se especifican las herramientas BIM empleadas en esta investigación:

**2.2.1 Autodesk Revit.** La implementación de la metodología BIM a este caso de estudio parte con el modelado en 3D de los sistemas que componen el edificio. Aunque realizar estos modelos es posible en varios programas, es Autodesk Revit el que a criterio de los autores proporciona mayores ventajas. Esto debido a que resulta fácil de usar y dentro de sus componentes abarca herramientas con funciones específicas para facilitar la obtención de datos a utilizar en la planeación de los proyectos. (Martínez, 2017) destaca la posibilidad de trabajar y agrupar en Revit los diferentes sistemas que componen un edificio así:

Revit permite modelar el diseño arquitectónico, constructivo, estructural y de instalaciones, y realizar el cálculo de las mismas a través de sus tres modos de proyectos: Architecture, para el proyecto arquitectónico; Structure, para el proyecto estructural y MEP (mecánica, electricidad y fontanería), para las diferentes instalaciones del edificio, quedando así toda la información necesaria recopilada en un modelo de proyecto único (Costin, 2012). (p. 27)

(Gómez, 2016) destaca la importancia del Lean Construction en la metodología BIM, comprendiendo que Lean Construction es una metodología de trabajo enfocada a la mitigación de pérdidas que puedan generarse por defectos en la obra.

La información suministrada por Revit se parametrizó bajo los estándares del “Lean Construction” o construcción sin pérdidas en donde los pilares de la información de la obra deben ser: planeación, acción, revisión y ajuste; es decir, el programa por defecto maneja un proceso constructivo que contempla esta metodología. (Gómez, 2016, pág. 23)

Además, (Gómez, 2016) señala que esta metodología comprende los conceptos de “Just to time” o justo a tiempo, “en donde cada actividad realizada no presente fallas en el cronograma que impida ejecutar otras actividades” (p. 23), y el concepto de “Take Quality Control” o control total de la calidad. De lo anterior destaca:

Es por esto que el marco conceptual de la construcción sin pérdidas está enfocado a la administración y mejoramiento constante de la productividad, y por tanto las herramientas desarrolladas para este fundamento están basadas para reducir las pérdidas por el proceso de construcción. (Gómez, 2016, pág. 23)

Se infiere entonces que Revit es una herramienta enfocada a la prevención temprana de errores que pueden producir pérdidas que afecten la ejecución de las obras. A partir de lo anterior, se establece la decisión de aplicar Autodesk Revit al caso de estudio Edificio Puerta de Hierro.

El sitio oficial (Autodesk, s.f.) destaca las características principales de Revit así:

- Herramientas de diseño conceptual: Permite la creación de modelos de forma libre para realizar análisis preliminares. Una vez afianzado el conocimiento, es posible manipular estos elementos para alcanzar una arquitectura más detallada.
- Componentes paramétricos: Se destaca que en Revit es posible el modelado paramétrico, que consiste en la relación entre todos los elementos de un proyecto que permiten la

coordinación y la gestión de cambios. Esto proporciona que, si se debe modificar cualquier elemento, Revit coordinará el cambio en todo el proyecto.

- Visualización de diseños en 3D y Renderización en la nube: En Revit se puede modelar en dos dimensiones y visualizar y modificar el modelo en una vista tridimensional. Así mismo, es posible producir visualizaciones fotorrealistas con el motor de renderización Autodesk Raytracer.
- Trabajo compartido: Permite agrupar diferentes disciplinas involucradas en un proyecto, con el fin de garantizar la adecuada gestión del mismo. Como herramienta, permite la colaboración sincronizada de información entre todos los implicados en el proyecto.
- Cronogramas: El sitio oficial de Autodesk señala “Cree tablas de planificación, cantidades y cálculos de materiales para cuantificar y analizar los componentes y los materiales utilizados en un proyecto. Una tabla de planificación es otra vista del modelo” (Autodesk, 2019).
- Interoperabilidad e IFC: Revit involucra una gran variedad de extensiones en sus archivos, lo que posibilita la sincronización adecuada de la información mediante el empleo de formatos de uso común. Uno de estos formatos es el IFC, que nace con el fin de permitir el intercambio de un modelo informativo conservando la integridad de los datos.
- Anotación: Revit permite la documentación adecuada de los proyectos que en esta herramienta se desarrollan, lo que garantiza una comunicación eficaz entre los entes al incluir cotas, notas de texto, notas clave, etiquetas y símbolos. Esta condición es indispensable para obtener los entregables del proyecto.

- Parámetros globales: “Incorpora la intención del diseño con parámetros de todo el proyecto que funcionan con dimensiones radiales y diametrales y restricciones de igualdad” (Autodesk, s.f.).
- Complementos: Revit además posibilita el enlace con otras herramientas que aumentan su funcionalidad. Estas herramientas pueden encontrarse en la biblioteca de Autodesk App Store.

Indagando un poco más acerca de las ventajas o beneficios de Revit, (Alcántara, 2013) señala que “la teoría original del BIM recomienda un solo repositorio (modelo) con todas las partes extraíbles de información. Sin embargo, cada disciplina requerirá su propio modelo BIM para cumplir con sus obligaciones contractuales” (p. 9). Y precisamente uno de los beneficios que proporciona Revit es que permite el desarrollo de modelos independientes que pueden ser vinculados a un archivo adicional para visualizar el modelo completo; esto gracias a que el programa permite crear y cargar vínculos entre sus archivos.

Lo anterior representa grandes ventajas pues, por ejemplo, mientras una parte del equipo de trabajo especializado en estructuras puede trabajar en el modelo de este sistema, simultáneamente otro sector del equipo puede ir realizando el modelo de las instalaciones u obteniendo cálculos tales como cantidades de obra, lo que permite el trabajo colaborativo.

Además, es posible que, al obtener un único modelo en el cual se recopila toda la información suministrada, se obtenga también toda la información del proyecto. Esta información generada automáticamente al realizar el modelo tridimensional incluye: planos de planta, alzados, secciones, etc., lo que representa una reducción notable de los tiempos de planeación de los proyectos, pues con un mismo modelo se podrá visualizar el proyecto desde todas las perspectivas posibles. (Martínez, 2017)

Este concepto de modelo único supone, además, que al realizar cualquier modificación, el motor de cambios paramétrico de Revit coordine automáticamente el

modelo y lo actualice en todo el proyecto: vistas del modelo, planos, detalles constructivos, hojas de dibujo, etc. (Martínez, 2017, pág. 29)

Se cita a continuación un manual para comprender las funciones más básicas de Autodesk Revit: Manual Avanzado Autodesk Revit® Architecture de (Arrieta, 2016).

**2.2.2 Autodesk Navisworks.** Navisworks es una herramienta destacada para la visualización de proyectos, incluyendo los modelos y planos que los constituyen. Aunque no es una aplicación BIM nativa, si está ligada a los proyectos que se realizan bajo esta metodología debido a la importancia que representa para la comunicación de información, y la detección de interferencias entre los modelos BIM.

Desde su aparición ha marcado una evolución importante, lo que lo ha posicionado como un software imprescindible para proyectos BIM. La revista (IAC, s.f.) respecto a la utilidad de Autodesk Navisworks señala:

Esta herramienta es utilizada principalmente en la industria de la construcción para complementar paquetes de diseño 3D (como Autodesk Revit, AutoCAD y MicroStation), permite a los usuarios abrir y combinar modelos 3D, navegar a su alrededor en tiempo real y revisar el modelo utilizando un conjunto de herramientas que incluyen comentarios, línea roja, punto de vista y medidas.

Además, Navisworks permite la detección de interferencias, simulación de tiempos y cronogramas vinculados desde Microsoft Project, así como los costos, la renderización de los modelos y también crea archivos de formato NWD, el cual aliviana los archivos de modelos para facilitar su transmisión.

Específicamente, es posible encontrar 3 programas bajo el nombre Navisworks, que se adaptan según las necesidades de los participantes en los proyectos. (Real, 2018) los especifica así:

Navisworks Freedom, es un visor gratuito que permite que todo el equipo tenga acceso a la totalidad del proyecto para su revisión, no dejando editar los objetos y sin tener la necesidad de usar una licencia. Navisworks Simulate, nos permitirá generar una simulación constructiva del proyecto asociada a la planificación de obra; y Naviswork Manage, es el más completo, ya que además de las funcionalidades del anterior, nos permite anticipar, prevenir y resolver problemas de interferencias de los componentes del proyecto de manera virtual.

### ***Formatos de archivo de Navisworks.***

- NWC: Corresponden a los archivos de caché generados cuando se enlaza un archivo CAD con Navisworks, o cuando se exporta un modelo desde Revit. Se caracterizan por tener tamaños inferiores a los originales, facilitando el acceso a los archivos más utilizados. (Real, 2018)
- NWF: (Real, 2018) señala que “tiene los archivos nativos originales enlazados, con la información específica de Navisworks, marcas, visualizaciones, comentarios, etc. En este formato no se guarda la geometría del modelo, por eso es considerablemente menor el tamaño de los archivos que los .NWD”.
- NWD: Son archivos que contienen toda la información y geometría del modelo, pero su tamaño es mucho menor que los archivos de modelos originales. En este tipo de archivo, se puede apreciar el modelo completo en el estado actual. (Real, 2018)

### ***Características.***

El sitio web (IAC, s.f.) señala dentro de las características principales de Navisworks las siguientes:

- Facilita la apertura de archivos NWD y 3D DWF.

- Permite ver la jerarquía del modelo, las propiedades del objeto y los datos de revisión integrados, incluidos los puntos de vista, las animaciones, las líneas rojas y los comentarios.
- Incluye un conjunto completo de herramientas de navegación, que incluyen Walk, Look Around, Zoom, Zoom Box, Pan, Orbit, Examine, Fly y Turntable.
- Admite visualización de materiales e iluminación en tiempo real.

La ESDIMA (Escuela de Diseño de Madrid) señala que Navisworks no solo proporciona soporte 3D y 4D, pues también tiene soporte para imágenes y trabajos en 2D, lo que correspondería a bocetos y dibujos. Y estos permitirían al diseñador plasmar las ideas y aportes previo a la realización de la figura en otros formatos como el 3D o para simulaciones más completas en el 4D, en la que sería posible evidenciar su construcción y posible progreso en la vida real. (ESDIMA, s.f.)

**2.2.3 Design Review.** Esta herramienta vinculada a la metodología BIM facilita la comunicación entre las partes involucradas en los proyectos. Las funciones principales de Design Review son proporcionar visualización de planos y modelos, y permitir la impresión de archivos en 2D y 3D que constituyen los entregables del proyecto. (Autodesk, 2014) confirma esto en uno de sus apartados:

En Design Review, el equipo de todo el proyecto o producto puede ver, imprimir, medir y revisar archivos DWF, DWG, DXF, PDF y ráster con contenido 2D y 3D. Totalmente integrado con AutoCAD®, Inventor® y Revit®, Design Review permite compartir fácilmente dibujos, modelos, mapas y datos de diseño con otros miembros del equipo, clientes, consultores, contratistas, socios, proveedores y otros revisores que no dispongan de software de diseño o no sepan cómo utilizarlo.

Design Review se vuelve una herramienta ventajosa pues tiene descarga libre, lo que la coloca al alcance de cualquier persona que requiera utilizarla. La ventaja que representa para la

metodología BIM es que, al trabajar con archivos de formatos conocidos, estos pueden ser compartidos bajo una misma base de datos entre los equipos que integran el proyecto, mejorando la comunicación entre ellos y optimizando la gestión de cambios.

Lo anterior se hace posible bajo un flujo de trabajo de diseño digital. El sitio web (Autodesk, 2014) enmarca este proceso así:

La mayoría de los archivos DWF comienzan como un dibujo o modelo creado en programas de Autodesk como AutoCAD, Inventor y Revit. Antes de publicar un archivo DWF, la persona que lo publica determina las funciones (modelo, presentaciones, capas, bloques, vistas guardadas, etc.) que se incluirán en el archivo DWF publicado. Una vez determinado el contenido, el diseñador publica el formato original del archivo como un archivo DWF y lo envía al equipo de revisión para comenzar el proceso de revisión digital del diseño.

Las siguientes, son las fases para revisión en Design Review establecidas por (Autodesk, 2014):

- **Recibir.** Los revisores obtienen el archivo DWF del autor y lo abren en Design Review para verificar el contenido (un dibujo 2D, un modelo 3D o una imagen).
- **Revisar.** Los revisores añaden comentarios y marcas de revisión digitales al archivo DWF mediante llamadas, texto, formas, cotas, sellos y símbolos personalizados, y guardan el archivo DWF.
- **Devolver.** Los revisores reenvían el archivo DWF con marcas de revisión al autor original.
- **Revisar.** El diseñador utiliza el software de publicación para importar el archivo DWF con marcas de revisión, consultando los comentarios en contexto para revisar el diseño original rápidamente.

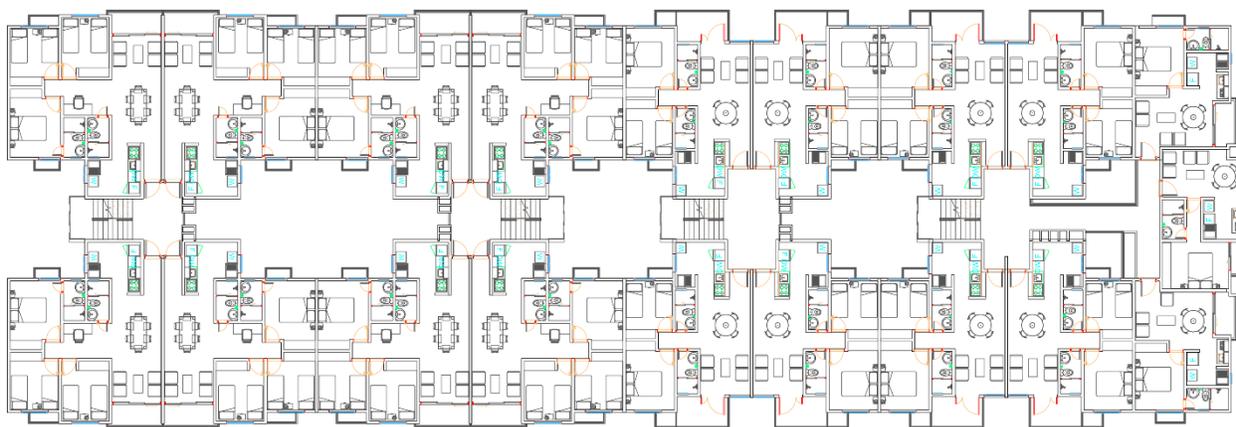
- **Volver a publicar.** Tras enmendar el contenido original en el software de publicación, el diseñador vuelve a publicar el archivo DWF actualizado, un conjunto de planos nuevo, o un modelo, para iniciar de nuevo el flujo de trabajo de diseño digital.

## Capítulo 3. Desarrollo de la metodología BIM aplicada al caso de estudio

### 3.1 Creación del StartUp de AutoCAD

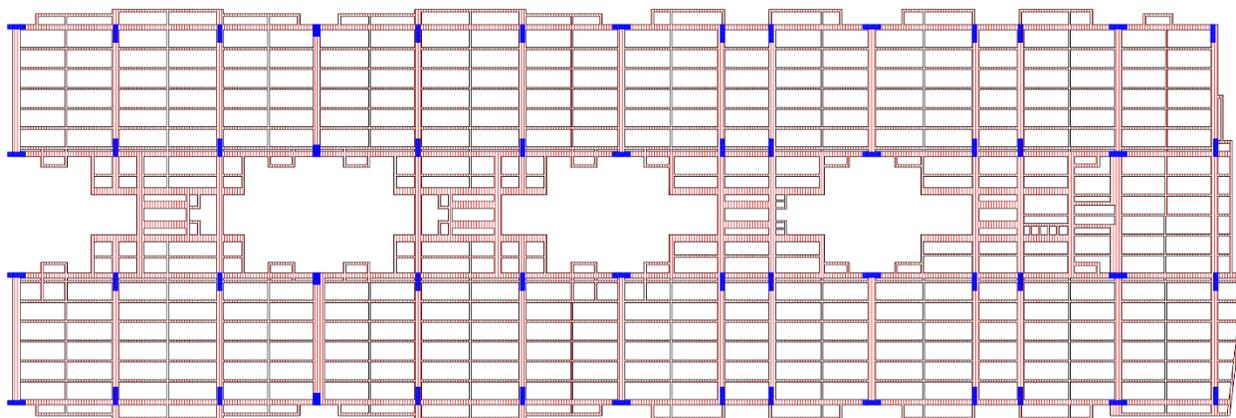
Para alcanzar la gestión adecuada de los proyectos, se hace necesario desarrollar una planeación eficiente y coordinada de toda la información con que se cuenta. El StartUp se refiere entonces, a la organización estructurada de todos los datos que permitirán desarrollar el proyecto empleando metodología BIM.

Para el estudio de la metodología BIM aplicada al Edificio Puerta de Hierro, se requirió primero organizar y ajustar toda la información contenida en los planos de AutoCAD suministrados, de manera que fuesen de fácil comprensión al momento de trabajar con base a ellos en Autodesk Revit. Cada sistema a modelar estaba contenido en su respectivo conjunto de planos CAD, así que cada una de las plantas se extrajo en archivos independientes para facilitar el trabajo; todos estos archivos fueron recopilados en una misma base de datos a la cual tenían acceso todos los implicados en el proyecto. A continuación, se muestran los planos en planta del piso 3.



**Figura 16.** Plano CAD arquitectónico del P03-P06.

Fuente: Autores.



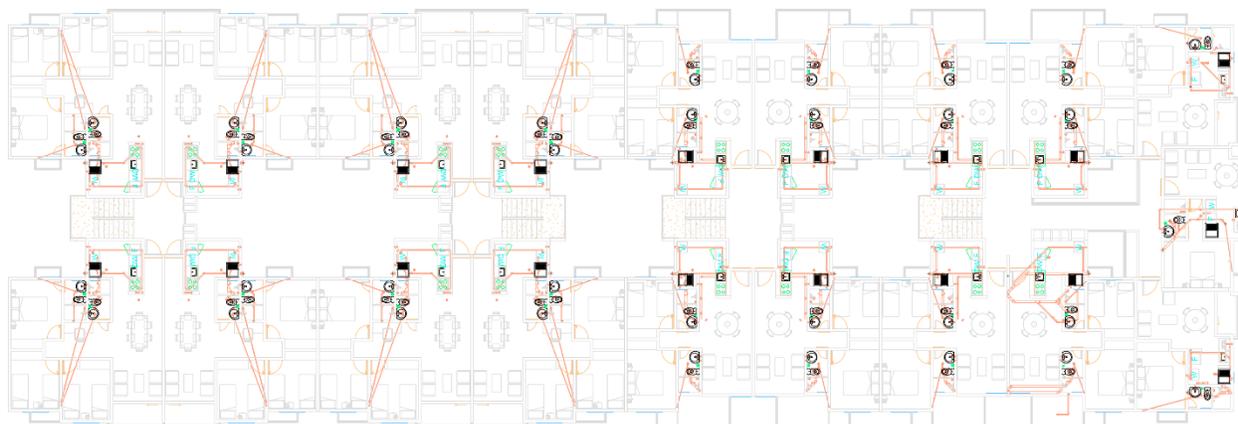
**Figura 17.** Plano CAD estructural del P03-P06.

Fuente: Autores.



**Figura 18.** Plano CAD hidráulico del P03-P06.

Fuente: Autores.



**Figura 19.** Plano CAD sanitario del P03-P06.

Fuente: Autores.

### 3.2 Modelado de sistema arquitectónico, estructural y MEP

Una vez organizada toda la información, se modelaron los respectivos sistemas en Revit con base en los planos de AutoCAD. El primero de ellos fue el sistema arquitectónico.

Para alcanzar el nivel de desarrollo requerido, el LOD 350, debía ser posible diferenciar a simple vista los diferentes componentes de la arquitectura del edificio. El LOD 100 consiste meramente en elaborar los modelados 3D, sin embargo, se requerían más detalles e información para desarrollar esta investigación. Se alcanzó el nivel de desarrollo LOD 200 donde se podían apreciar los acabados de los elementos, pero aún no se involucraba la información suficiente. Aunque el LOD 300 se aproximaba, sólo permitía obtener información precisa de la geometría, pero sin un proceso constructivo completo. El LOD 350 como destaca (Madrid, 2015) es el equivalente al nivel 300, pero se añade la detección de interferencias, por tal motivo, es el nivel de desarrollo requerido para esta investigación. La elección de este nivel, se debe a que es propio de proyectos complejos desarrollados por desagregación, es decir, en los cuales se desarrollan distintas disciplinas por independiente, tales como el modelado por separado de cada sistema.

Para elaborar los modelos se emplearon las denominadas Familias de Revit, que son elementos que dan características especiales al modelo y permiten comprender mejor los

espacios. Estos se pueden encontrar en la web para descarga o se pueden elaborar a criterio del modelador. En arquitectura, estas familias corresponden a muros, puertas, ventanas, y demás inmobiliario.

Una vez modelados los muros divisorios, inmuebles, pisos y sus respectivos acabados para cada uno de los pisos del edificio, puede darse por concluido el modelado arquitectónico. A continuación, se muestra un detalle del LOD 350 de un apartamento tipo.



**Figura 20.** Detalle LOD 350 de apartamento Tipo.

Fuente: Elaboración propia.

A la par con el modelado del sistema arquitectónico, se desarrolló el sistema estructural. Ya que no se contaba con detalles de los aceros en los documentos suministrados para la

elaboración del proyecto, se modelaron los elementos de concreto y casetones para las losas aligeradas.

Se desarrolló también el modelo en Revit de las redes hidráulicas y sanitarias, para esto Revit proporciona distintos tipos de tubería con los que es posible trabajar. Para el presente proyecto se utilizó la tubería a presión PAVCO, y las familias utilizadas para estas redes se refieren a codos, yeas, tees, válvulas, cajas de inspección, llaves de paso, bombas y demás elementos requeridos para conexión al tanque de distribución. En las siguientes figuras se presentan las fachadas del edificio:



**Figura 21.** Fachada este Edificio Puerta de Hierro.

Fuente: Elaboración propia.

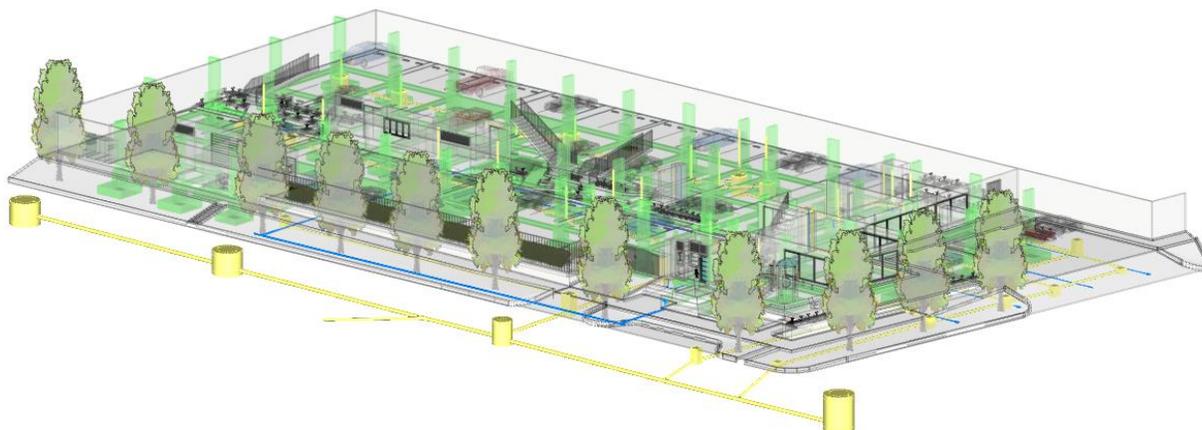


**Figura 22.** Fachada sur Edificio Puerta de Hierro.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 Creación del master de piso, master de sistema y master master

Después de modelados todos los pisos, en archivos de Revit se desarrolló el master de piso. Para elaborarlo se crearon archivos de tipo .rvt para cada piso, los cuales enlazaban mediante vínculos, los archivos correspondientes que contenían los modelos de cada sistema dibujado en Revit, con la particularidad de que se vinculaban todos los sistemas involucrados en un mismo piso. En las siguientes figuras se distinguen los sistemas según el color: de blanco se muestra el sistema arquitectónico, de verde el sistema estructural, de amarillo las redes sanitarias y de color azul las redes hidráulicas.



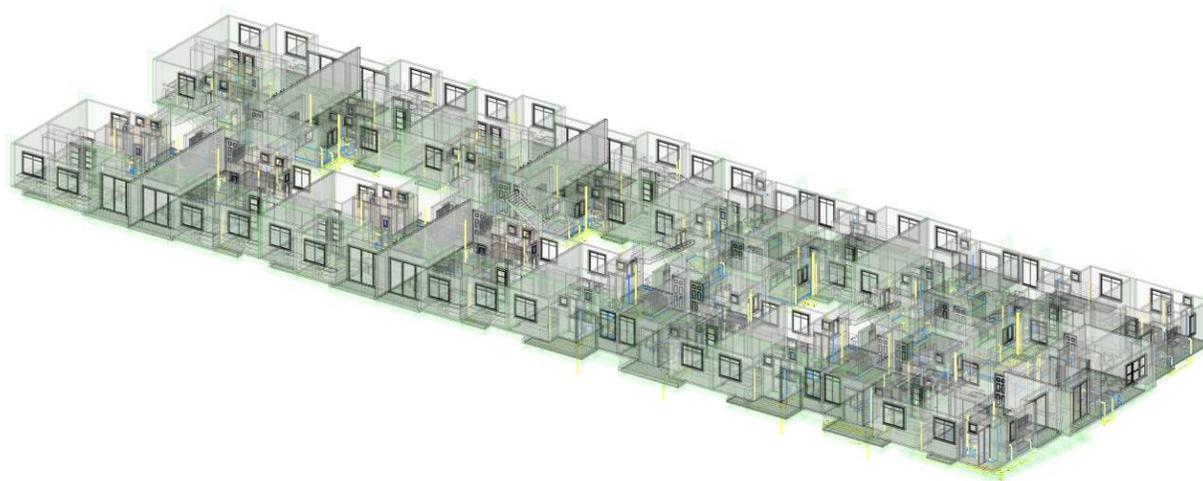
**Figura 23.** Máster de piso del P01.

Fuente: Elaboración propia.



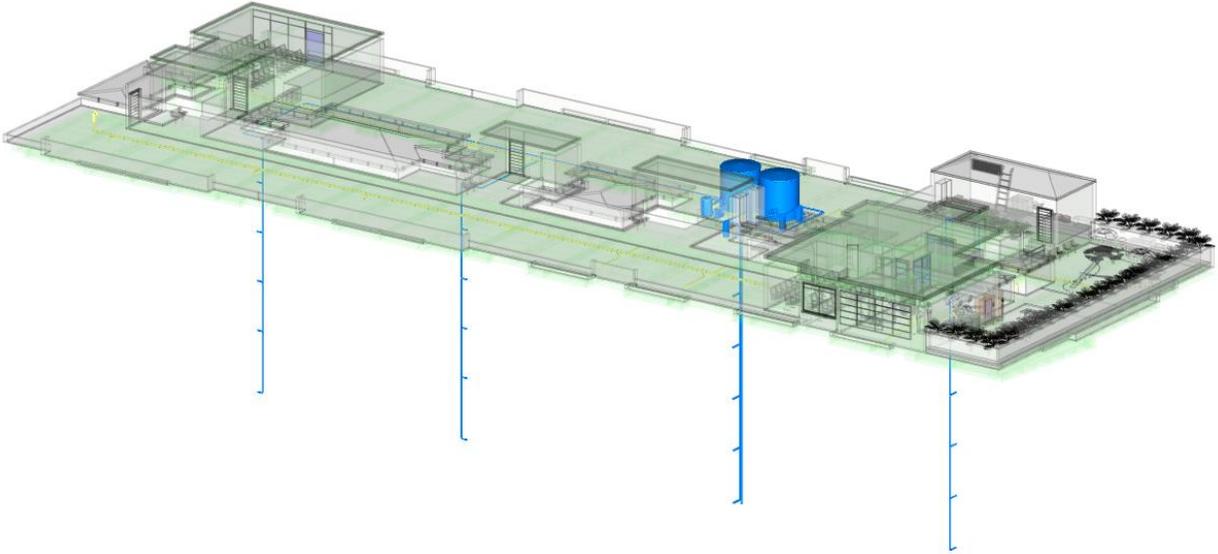
**Figura 24.** Máster de piso del P02.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 25.** Máster de piso del P03 al P06.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 26.** Máster de piso del P07.

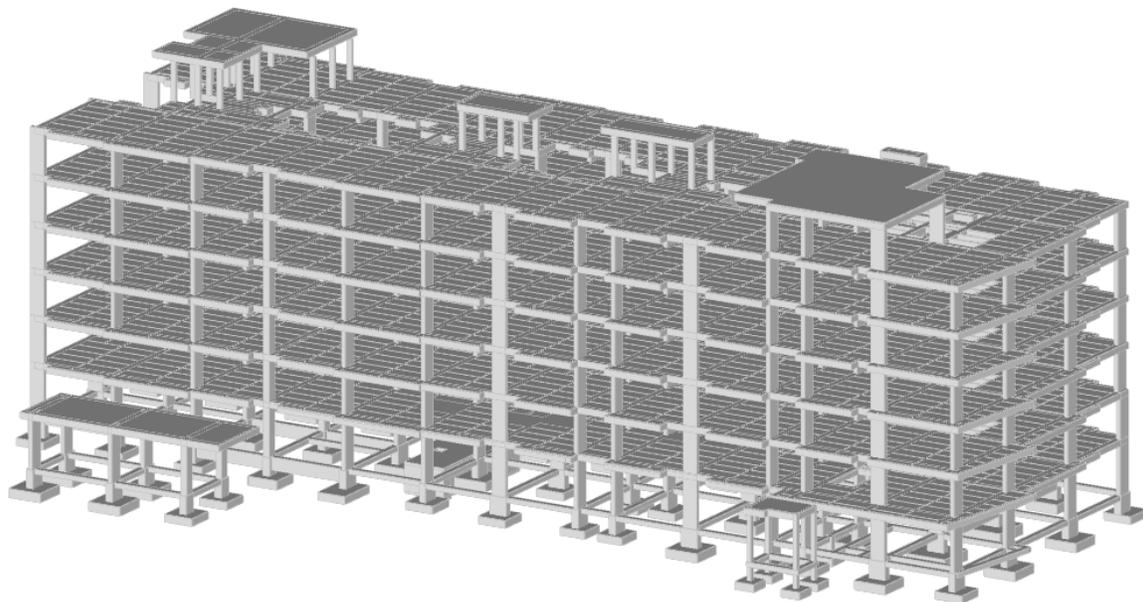
Fuente: Elaboración propia.

El mismo procedimiento se llevó a cabo para elaborar el master de sistema, que consiste en vincular a un archivo de Revit los modelos de cada piso, pero de un mismo sistema. Donde, por ejemplo, se puede visualizar el sistema de redes sanitarias en su totalidad para los 7 pisos del edificio.



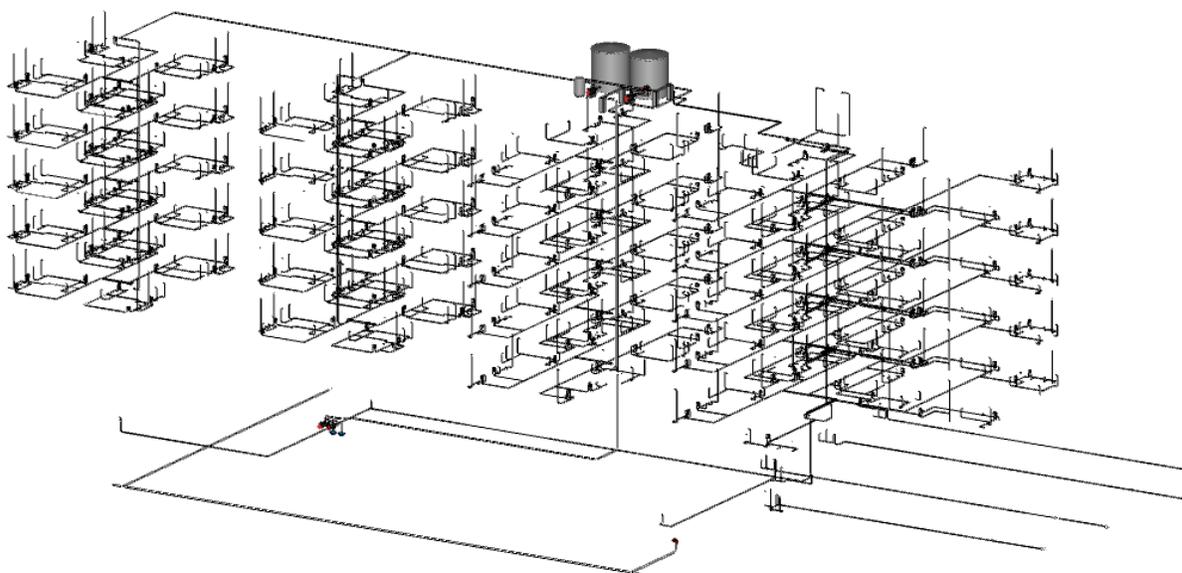
**Figura 27.** Máster de sistema arquitectónico.

Fuente: Elaboración propia.



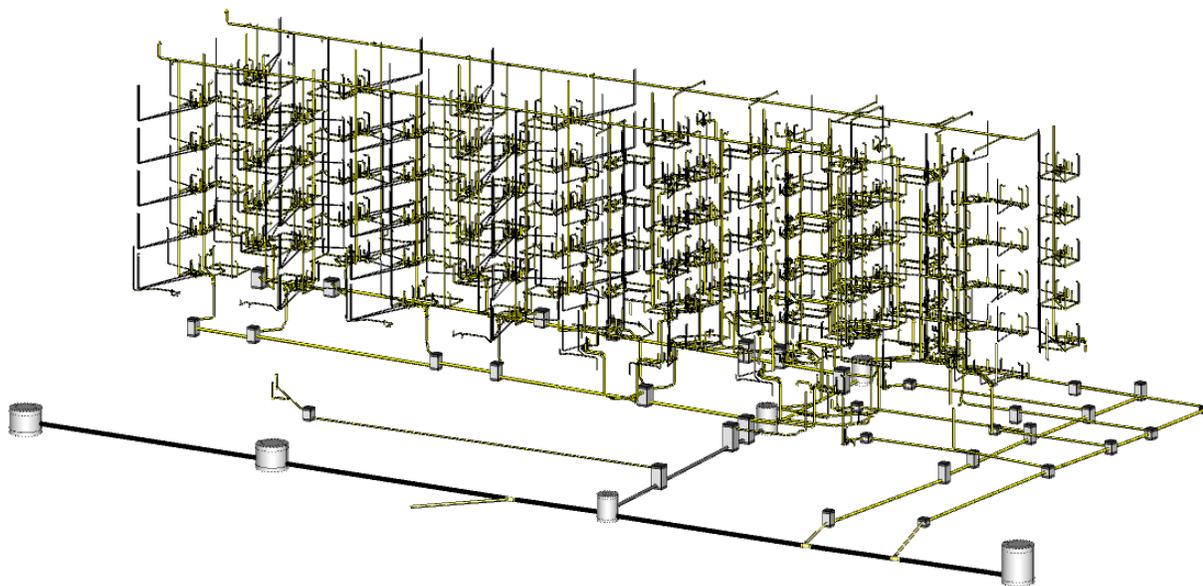
**Figura 28.** Máster de sistema estructural.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 29.** Máster de sistema hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.



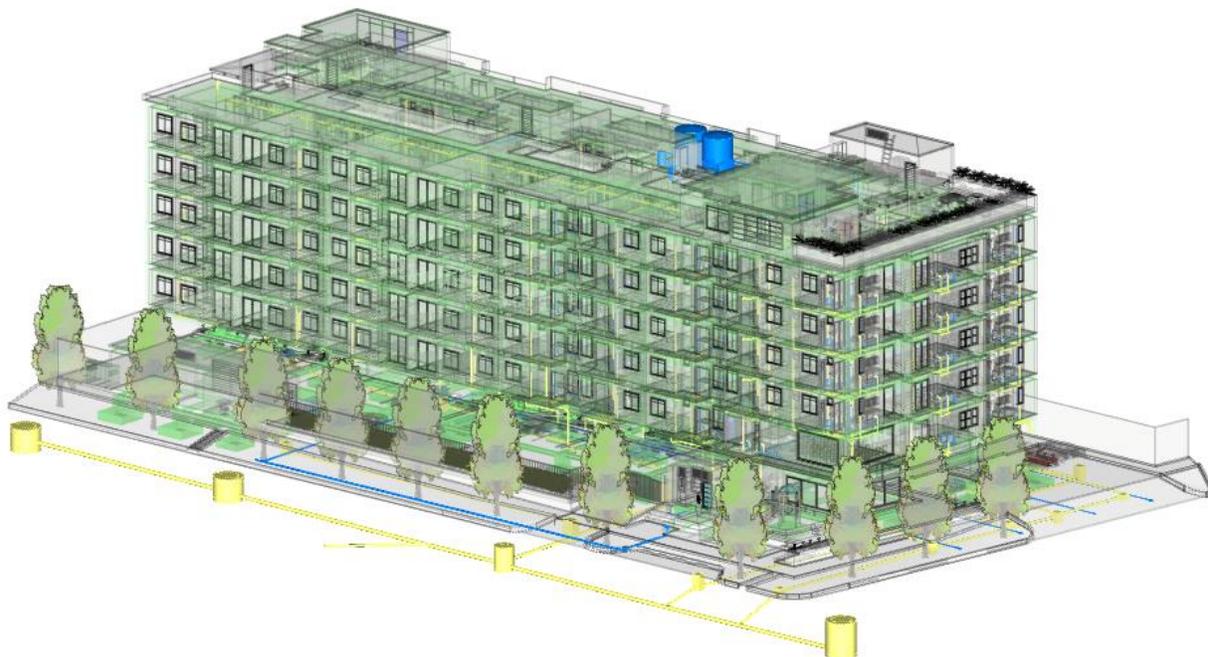
**Figura 30.** Máster de sistema sanitario.

Fuente: Elaboración propia.

Se desarrolló también el master master, pero en este caso, se abarcaron todos los sistemas para todos los pisos. Es decir, que en un mismo modelo es posible apreciar todos los sistemas para todos los pisos del edificio. En este sentido, se obtiene la vista definitiva del edificio, una proyección acertada de cómo debería verse una vez construido.

Es pertinente aclarar que para elaborar de forma precisa estos másteres, se requirió conocer y establecer los distintos niveles de elevación que conformaban cada piso para generar estas elevaciones en los archivos de Revit, así como la coordinación vertical adecuada de tal manera que se respetaran las tolerancias requeridas para separar un sistema de otro, principalmente las redes hidráulicas de las sanitarias.

El master master se visualiza en la siguiente figura:



**Figura 31.** Máster máster.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4 Chequeo de interferencias entre los diferentes sistemas

Como ya se mencionó, Autodesk Navisworks es una herramienta que permite crear informes de colisiones entre los modelos extraídos de Revit. Esta función garantiza la corrección anticipada de estos conflictos, lo que minimiza contratiempos y sobrecostos que se podrían presentar en la ejecución de la obra. Esta peculiaridad es una de las grandes ventajas que aporta la metodología BIM a los proyectos de construcción.

Una vez obtenidos los modelos arquitectónicos, estructurales, hidráulicos y sanitarios del edificio Puerta de Hierro, se exportaron en vistas 3D a archivos de formato DWFX, que fueron vinculados a Navisworks.

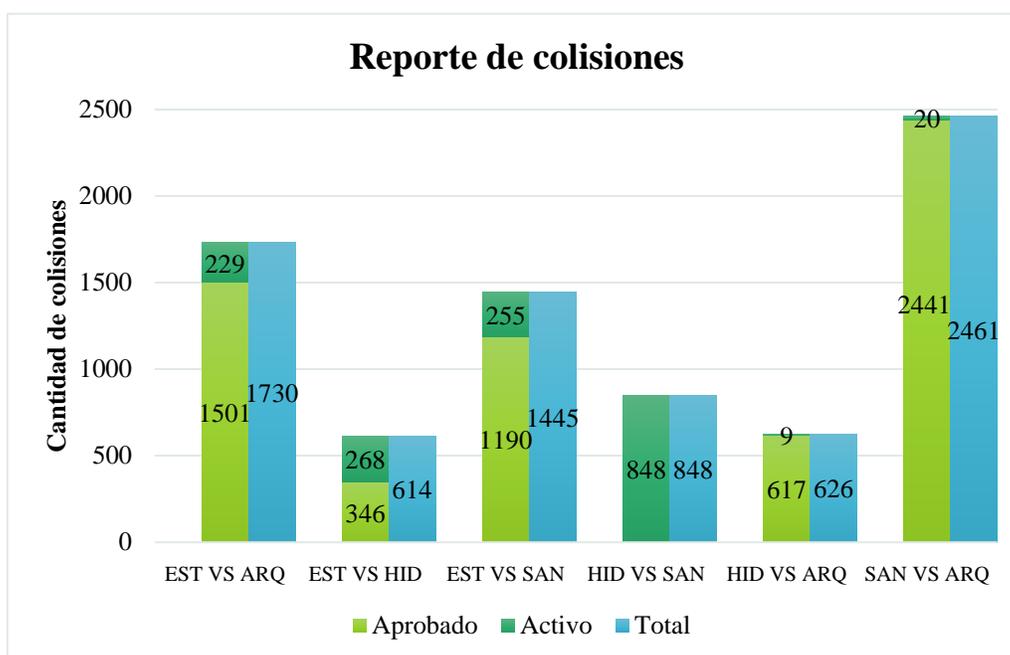
Después de esto, se elaboraron en Navisworks los informes de colisiones (Ver Apéndices). El nivel de desarrollo LOD 350, tal y como señala (Madrid, 2015) “Habitualmente, modifica la

totalidad del proyecto respecto a LOD 300 según criterios definidos en los que suele ser prioritario el respeto a la estructura frente a instalaciones, y estas frente a arquitectura” (p. 45). Por lo tanto, se ajustó ese orden de prioridad para la evaluación de corrección de las colisiones presentadas.

Una de las particularidades del chequeo de interferencias en Navisworks es que es posible evaluar una por una y determinar la incidencia que esta colisión puede ocasionar al proyecto en la etapa de ejecución. Estas condiciones que muestran el estado de las colisiones son: Nuevo, Activo, Revisado, Aprobado, Resuelto. (Autodesk, 2016) describe estas condiciones de la siguiente manera:

- Nuevo: un conflicto que se detecta por primera vez al ejecutar una prueba.
- Activo: un conflicto que se detectó en una prueba anterior y que sigue sin resolverse.
- Revisado: un conflicto que se detectó en una prueba anterior y que un usuario ha marcado como revisado.
- Aprobado: un conflicto que se detectó en una prueba anterior y que un usuario ha aprobado. (...) Si se vuelve a ejecutar la prueba, y se detecta el mismo conflicto, su estado se mantiene como "Aprobado".
- Resuelto: un conflicto que se detectó en una prueba anterior, pero que no se ha detectado en la prueba actual. Se supone que el problema, por lo tanto, se resuelve mediante cambios en el archivo de diseño y se actualiza automáticamente a ese estado.

En la gráfica siguiente se muestra la cantidad de interferencias detectadas para cada emparejamiento de sistemas:



**Figura 32.** Reporte de colisiones por parejas de sistemas.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la obtención de la totalidad de interferencias se realizó la evaluación de las mismas, estableciendo cuales eran las más críticas. Así mismo, se agruparon las interferencias que presentaban el mismo patrón de colisión.

Después de reconocer las interferencias presentadas, se presenta el análisis de las más críticas, incluyendo las posibles correcciones que podrían implementarse empleando las metodologías BIM y CAD. Para elaborar este análisis se recurrió a la creación de fichas de interferencias, siguiendo el modelo mostrado a continuación:

**Tabla 3***Modelo de Fichas de Interferencias evaluadas*

<b>FICHA DE INTERFERENCIA</b>		<b>FACTOR DE RIESGO</b>	
<b>SISTEMAS INVOLUCRADOS</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>			
Información detalla de la interferencia detectada en Navisworks.			
<b>METODOLOGÍA TRADICIONAL</b>		<b>METODOLOGÍA BIM</b>	
Repercusión de la interferencia si se hubiera presentado durante la ejecución de la obra.		Detalle de las circunstancias en que se evidencia la interferencia empleando metodología BIM.	
<b>POSIBLES COSTOS Y PERÍODOS DE SOLUCIÓN</b>			
Posibles soluciones y detalle de los sobrecostos o retrasos que estas pudieran representar a la obra.		Costos y tiempos de solución de la interferencia mediante los modelos de Revit.	
<b>DIFERENCIA DE COSTES</b>			
Gráfico comparativo de los costos estimados de solución.			

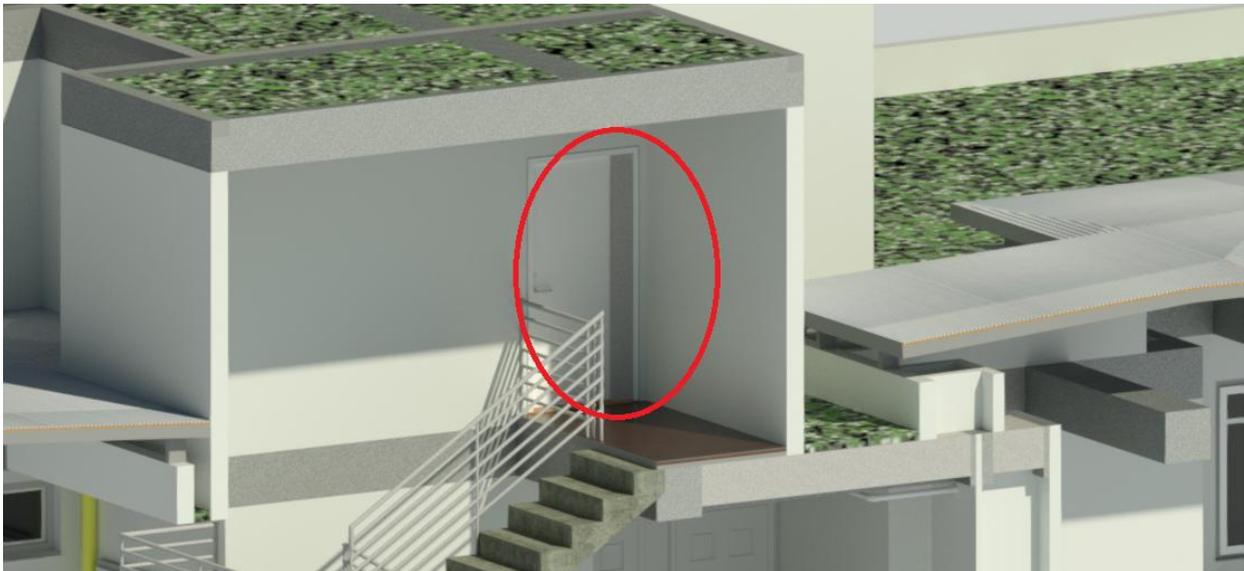
**Nota.** La tabla muestra el modelo a seguir en las fichas de interferencias para evaluar la incidencia de las colisiones presentadas entre los modelos elaborados en Autodesk Revit. Fuente: Elaboración propia.

En estas fichas se detallan las posibles repercusiones de que dichas colisiones se presenten durante las fases de diseño y planeación empleando metodología BIM o durante la ejecución de la obra con la metodología tradicional. Las colisiones se clasifican de acuerdo a su factor de riesgo en:

- **Leve:** No representa riesgos para el desarrollo adecuado del proyecto. Los costos y tiempos de solución no afectan el cronograma de obra. Además, la cantidad de interferencias semejantes es mínima.

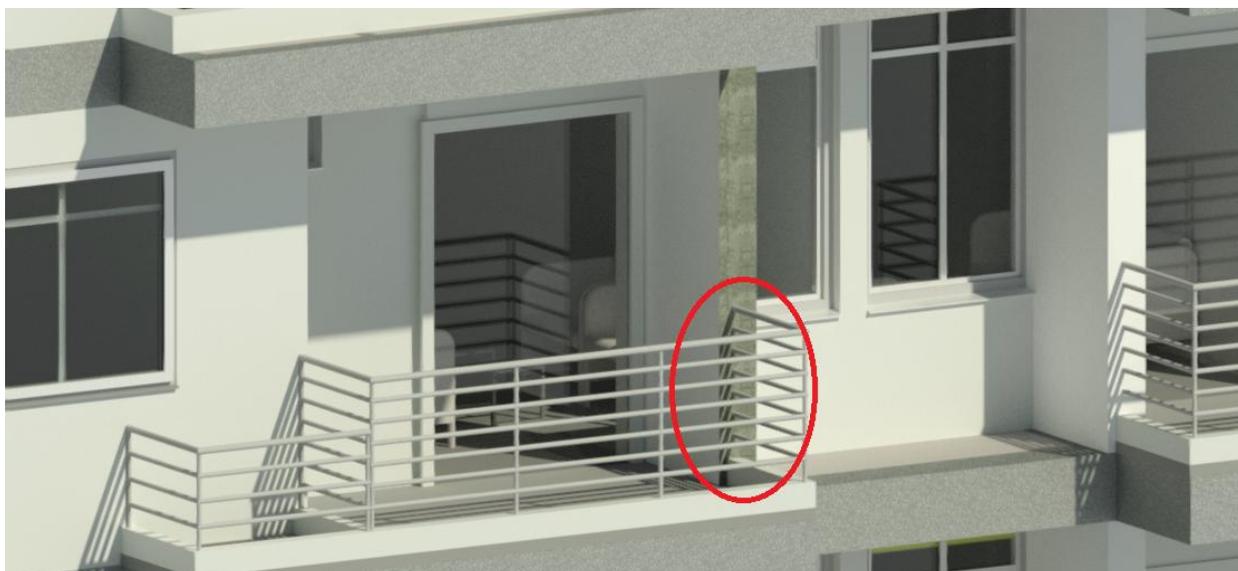
- Moderado: Las soluciones de mitigación provocan sobrecostos representativos y los tiempos de solución empiezan a representar pérdidas; no se presenta gran cantidad colisiones de este tipo en el proyecto.
- Grave: Colisiones que involucran sistemas importantes que no deben modificarse en lo posible. Costos de solución excesivos y tiempos de solución que producen retrasos importantes a la obra; se presentan muchas colisiones del mismo tipo.

Las siguientes imágenes muestran las interferencias evaluadas:



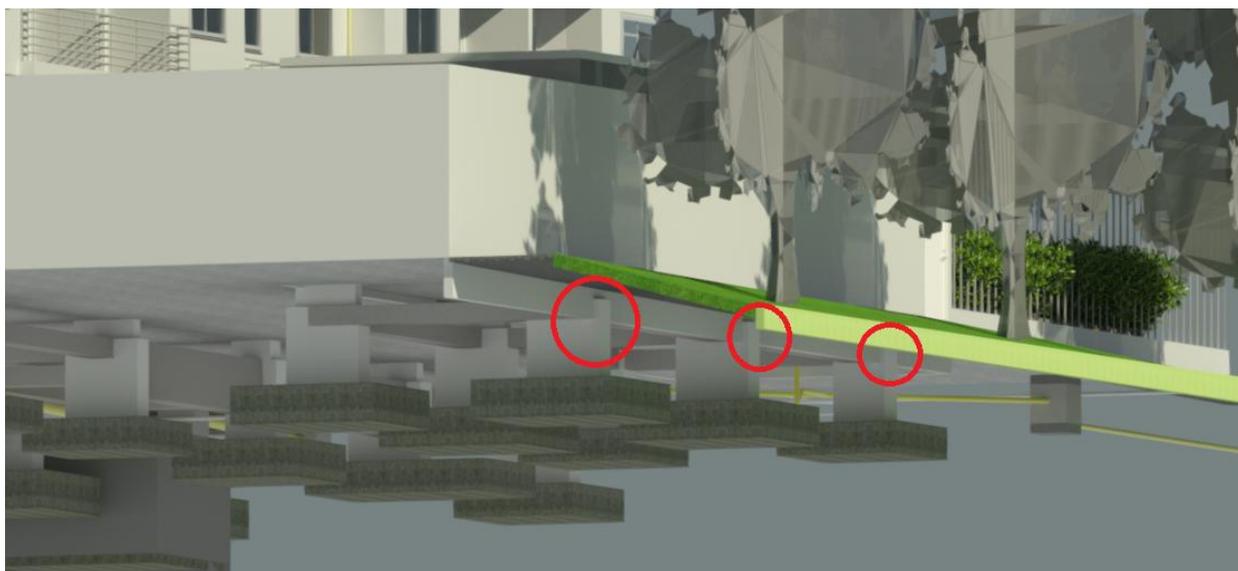
**Figura 33.** Interferencia No. 1.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 34.** Interferencia No. 2.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 35.** Interferencia No. 3.

Fuente: Elaboración propia



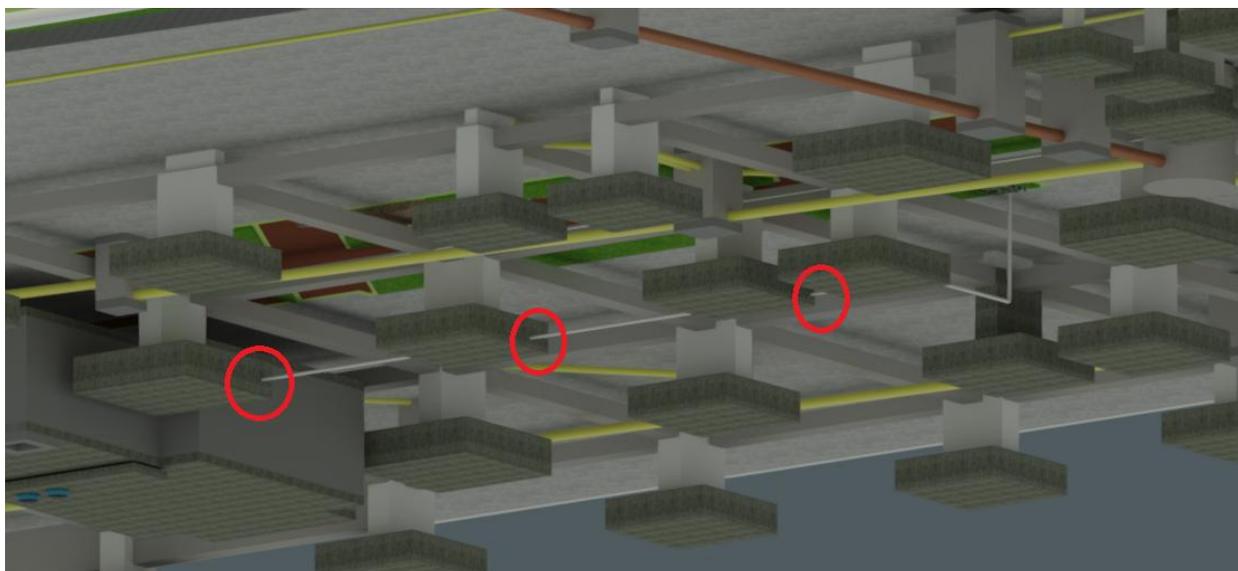
**Figura 36.** Interferencia No. 4.

Fuente: Elaboración propia.



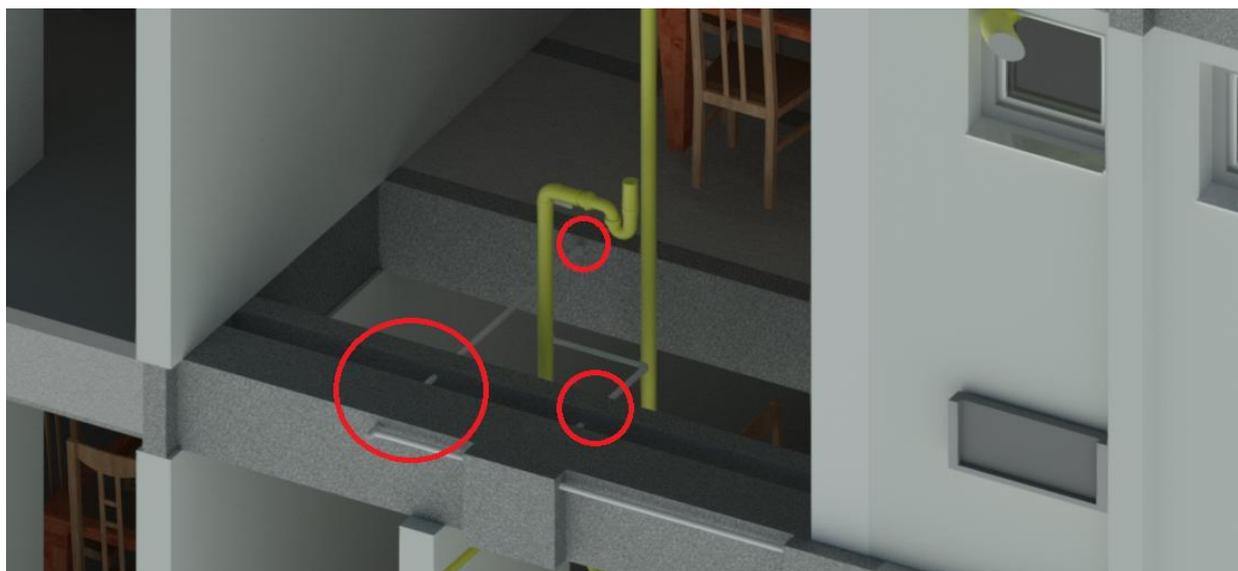
**Figura 37.** Interferencia No. 5.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 38.** Interferencia No. 6.

Fuente: Elaboración propia.



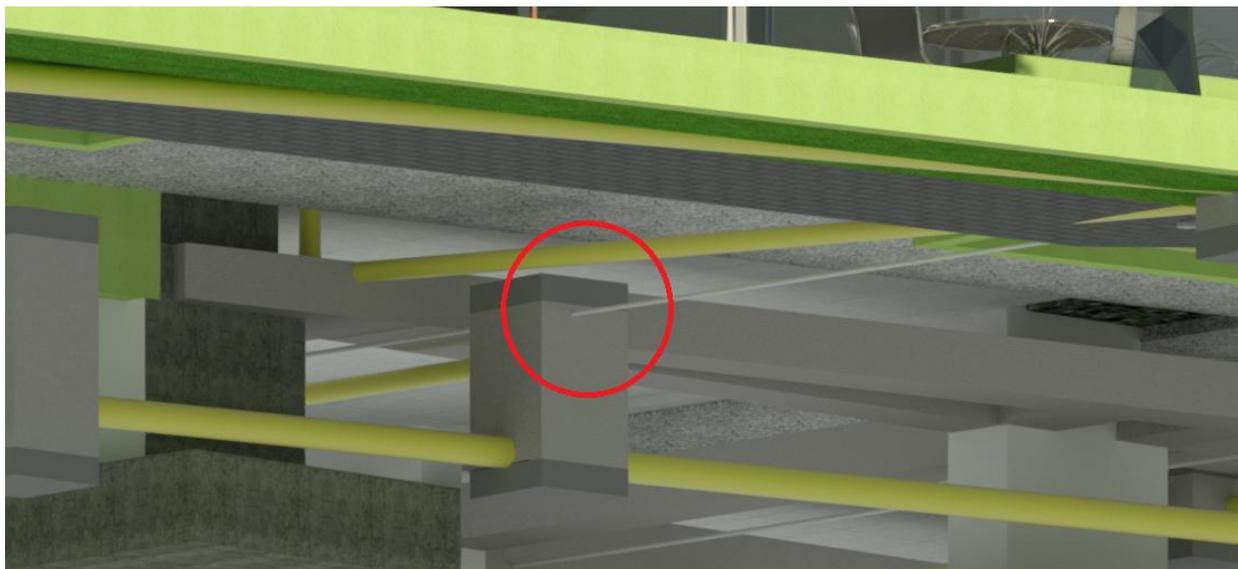
**Figura 39.** Interferencia No. 7.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 40.** Interferencia No. 8.

Fuente: Elaboración propia.



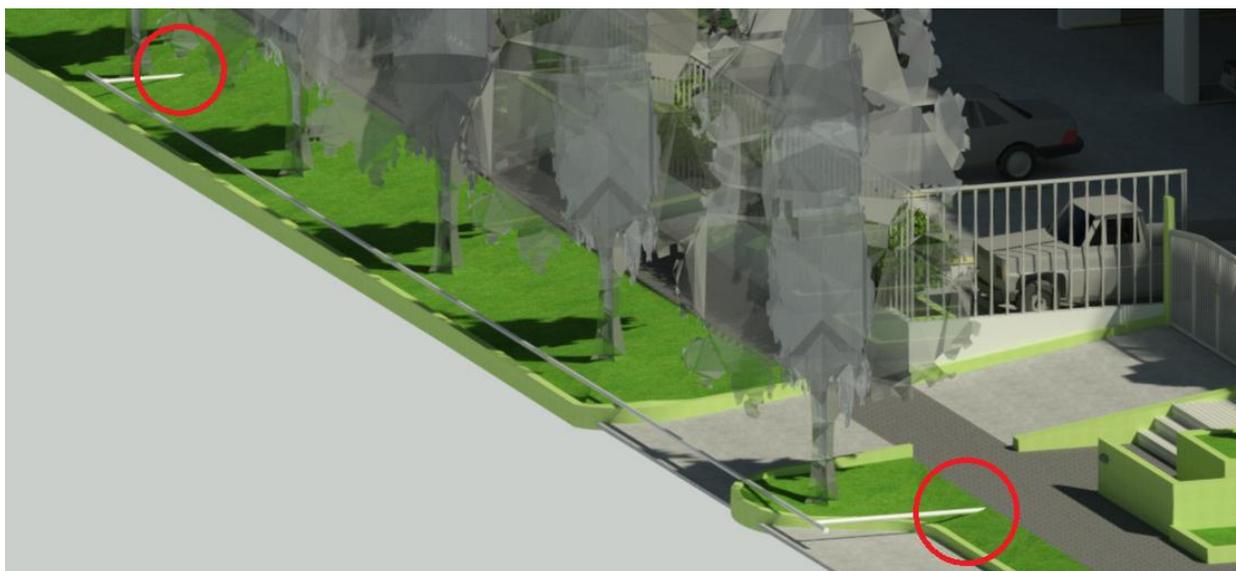
**Figura 41.** Interferencia No. 9.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 42.** Interferencia No. 10.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 43.** Interferencia No. 11.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de colisiones mediante fichas de interferencias, y los cálculos de costos y tiempos estimados de solución se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 4***Ficha de Interferencia No. 1*

<b>FICHA DE INTERFERENCIA</b>	No. 1	<b>FACTOR DE RIESGO</b>	GRAVE						
<b>SISTEMAS INVOLUCRADOS</b>	EST + ARQ								
<b>DESCRIPCIÓN</b>									
En el séptimo nivel una de las puertas es atravesada por una columna. Debido a que la puerta tiene acceso a un auditorio para eventos, esta debe tener dimensiones suficientes para permitir el paso de varias personas sin inconveniente, por lo que al no poder reducir las dimensiones se imposibilita ubicar una puerta en ese punto.									
<b>METODOLOGÍA TRADICIONAL</b>		<b>METODOLOGÍA BIM</b>							
Interferencia pasada por alto en fases de diseño y evidenciada una vez levantado el muro. Proporcionaría desventajas graves al proyecto pues se debe evaluar una nueva ruta de tránsito, y además se deben ajustar algunos muros para ubicar la entrada al auditorio.		El arquitecto responsable debe realizar las modificaciones pertinentes. Se detecta la colisión en fases de diseño, lo que permitiría definir una nueva ubicación para la puerta, como solución más factible. Otras posibles soluciones pueden ser implementadas.							
<b>POSIBLES COSTOS Y PERÍODOS DE SOLUCIÓN</b>									
Se debe acudir al arquitecto para evaluar la solución más viable. Por parte de los autores de esta investigación se plantea alzar en mampostería la sección proyectada inicialmente, y, además, demoler muros adyacentes para ubicar la puerta y ampliar la zona de tránsito.		Se deben cubrir los costos por hora de trabajo del arquitecto que evalúe las modificaciones al diseño y del modelador BIM. Por otra parte, no hay retrasos pues fue un conflicto resuelto en la planeación del proyecto.							
<b>DIFERENCIA DE COSTES</b>									
<p>The chart shows a significant cost difference between the two methodologies. The traditional methodology (green bar) costs \$2,013,334.35, while the BIM methodology (cyan bar) costs \$251,214.00. The y-axis represents cost in dollars, ranging from \$0 to \$2,000,000.00.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Metodología</th> <th>Costo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>METODOLOGÍA TRADICIONAL</td> <td>\$2.013.334,35</td> </tr> <tr> <td>METODOLOGÍA BIM</td> <td>\$ 251.214,00</td> </tr> </tbody> </table>				Metodología	Costo	METODOLOGÍA TRADICIONAL	\$2.013.334,35	METODOLOGÍA BIM	\$ 251.214,00
Metodología	Costo								
METODOLOGÍA TRADICIONAL	\$2.013.334,35								
METODOLOGÍA BIM	\$ 251.214,00								

**Nota.** La tabla muestra las comparativas de solución entre la metodología BIM y la metodología tradicional (CAD) para una interferencia presentada entre el sistema estructural y el arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5***Costo y tiempo de solución de interferencia con metodología tradicional*

UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNT	TOTAL
Muro sencillo 0,15 m, ladrillo común .07x.11x.22, mortero 1:4	m2	11,084	\$ 64.340,00	\$ 713.144,56
Demolición muros sencillos	m2	12,454	\$ 14.722,00	\$ 183.347,79
Puerta doble en aluminio 1.5x2.4	Und	1	\$ 1.116.842,00	\$ 1.116.842,00
COSTO TOTAL				\$ 2.013.334,35
TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)				3

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos y tiempos de solución de la interferencia presentada con metodología tradicional, basado en precios unitarios. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6***Costo y tiempo de solución de interferencia con metodología BIM*

CUADRILLA/AGENTE	SALARIO	CANTIDAD	TOTAL
Arquitecto (por hr)	\$ 15.050,00	12	\$ 180.600,00
Modelador BIM (por m <sup>2</sup> )	\$ 3.000,00	23,538	\$ 70.614,00
COSTO TOTAL			\$ 251.214,00
TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)			1,75

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos y tiempos de solución de la interferencia presentada, proyectados mediante la implementación de la metodología BIM. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7***Ficha de Interferencia No. 2*

<b>FICHA DE INTERFERENCIA</b>	No. 2	<b>FACTOR DE RIESGO</b>	MODERADO
<b>SISTEMAS INVOLUCRADOS</b>	EST + ARQ		
<b>DESCRIPCIÓN</b>			
En algunos balcones las barandillas de protección se atraviesan en columnas no previstas en los planos arquitectónicos iniciales. Factor de riesgo moderado pues no representa ningún riesgo representativo a la obra.			
<b>METODOLOGÍA TRADICIONAL</b>		<b>METODOLOGÍA BIM</b>	
Las barandillas como elementos prefabricados deben solicitarse a proveedores con las dimensiones requeridas. La intrusión de las barandas en las columnas se habría apreciado en la fase de instalación de las mismas.		Al detectar la interferencia y respetando el modelo estructural, se deben ajustar las dimensiones de las barandas en todos los modelos del proyecto.	
<b>POSIBLES COSTOS Y PERÍODOS DE SOLUCIÓN</b>			
El cálculo erróneo de la longitud de las barandas representaría la corrección en obra de estas longitudes, ajustando las barandas hasta alcanzar las dimensiones requeridas. Esto generaría desperdicios de material, gasto no planificado de mano de obra y un posible retraso de los tiempos si se debe esperar el suministro de nuevas barandas. (Ver Tabla para cálculo de costos y tiempos)		Dado que la corrección se realiza en las fases de diseño y planeación del proyecto, se presentarían costos de trabajo humano por corrección. Una vez determinadas las dimensiones requeridas de las barandillas, se proveería de estas en el mercado de la construcción.	
<b>DIFERENCIA DE COSTES</b>			
 <p>The chart shows a significant cost difference between the two methodologies. The traditional methodology cost is \$5,366,998.45, while the BIM methodology cost is \$67,026.00. The vertical axis is labeled with values: \$ 5.500.000,00, \$ 3.500.000,00, \$ 1.500.000,00, and -\$ 500.000,00. The legend indicates that the green bar represents METODOLOGÍA TRADICIONAL and the cyan bar represents METODOLOGÍA BIM.</p>			

**Nota.** La tabla muestra las comparativas de solución entre la metodología BIM y la metodología tradicional (CAD) para una interferencia presentada entre el sistema estructural y el arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 8**

*Cuantificación de material con interferencia mediante metodología tradicional*

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNT	TOTAL
Baranda	ML	155,585	\$ 216.202,00	\$ 33.637.788,17
TOTAL				\$ 33.637.788,17

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos por material de la interferencia presentada, con base en costos por unitarios. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9**

*Cuantificación de material sin interferencia y costo total de material desperdiciado con metodología tradicional*

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNT	TOTAL
Baranda	ML	130,761	\$ 216.202,00	\$ 28.270.789,72
TOTAL				\$ 28.270.789,72
COSTO TOTAL MATERIAL DESPERDICADO				\$ 5.366.998,45
TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)				5

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos por material sin la interferencia presentada, con base en precios unitarios. Además, se estima el costo total de material desperdiciado y el tiempo de corrección del conflicto. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10**

*Costo y tiempo de solución de interferencia con metodología BIM*

CUADRILLA/AGENTE	SALARIO/M2	CANTIDAD/M2	TOTAL
Modelador BIM	\$ 3.000,00	22,342	\$ 67.026,00
COSTO TOTAL			\$ 67.026,00
TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)			0,375

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos y tiempos de solución de la interferencia presentada, proyectados mediante la implementación de la metodología BIM. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 11***Ficha de Interferencia No. 3*

<b>FICHA DE INTERFERENCIA</b>	No. 3	<b>FACTOR DE RIESGO</b>	LEVE
<b>SISTEMAS INVOLUCRADOS</b>	EST + ARQ		
<b>DESCRIPCIÓN</b>			
Se presenta una interferencia entre un muro arquitectónico de espesor 0,15m con tres de los pedestales que dan soporte al área de bodegas y almacenamiento de basuras. La longitud de interferencia es cercana a los 0,242 m.			
<b>METODOLOGÍA TRADICIONAL</b>		<b>METODOLOGÍA BIM</b>	
Dicho conflicto no se habría presentado empleando metodología tradicional, pues es un error desarrollado en la realización de los modelos BIM. El cálculo de cantidades se habría desarrollado correctamente analizando los planos en planta y los cortes del edificio.		Por ser un problema de perspectiva de diseño, puede corregirse de manera oportuna en los modelos de Revit. La solución más favorable debido a que es un error en el diseño, en el cual el muro está por debajo del nivel del piso, es ajustar la base del muro.	
<b>POSIBLES COSTOS Y PERÍODOS DE SOLUCIÓN</b>			
Al ser un error imperceptible con la metodología tradicional, no se presentan sobrecostos ni retrasos a la obra.		Dado que la corrección se realiza en las fases de diseño y planeación del proyecto, no se presentaría ningún coste adicional que el destinado al salario del modelador BIM.	
<b>DIFERENCIA DE COSTES</b>			

**Nota.** La tabla muestra las comparativas de solución entre la metodología BIM y la metodología tradicional (CAD) para una interferencia presentada entre el sistema estructural y el arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 12***Costo y tiempo de solución de interferencia con metodología BIM*

<b>CUADRILLA/AGENTE</b>	<b>SALARIO/M2</b>	<b>CANTIDAD/M2</b>	<b>TOTAL</b>
Modelador BIM	\$ 3.000,00	8,275	\$ 24.825,00
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 24.825,00</b>
<b>TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)</b>			<b>0,125</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos y tiempos de solución de la interferencia presentada, proyectados mediante la implementación de la metodología BIM. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13

Ficha de Interferencia No. 4

FICHA DE INTERFERENCIA	No. 4	FACTOR DE RIESGO	GRAVE						
SISTEMAS INVOLUCRADOS	EST + ARQ								
<b>DESCRIPCIÓN</b>									
Algunas puertas y ventanas presentan colisión con las columnas. El ancho, incluidos los marcos, supera el permisible para el espacio disponible.									
<b>METODOLOGÍA TRADICIONAL</b>		<b>METODOLOGÍA BIM</b>							
Se requerirían puertas de menor anchura que las ya establecidas, detalle que se vería reflejado una vez levantados los muros. Además, se deberían desmontar las ventanas para desplazarlas un poco.		Desde la fase de diseño, se pueden ajustar en los modelos de Revit las dimensiones requeridas para las puertas y ventanas, para posteriormente solicitar a los proveedores estos elementos.							
<b>POSIBLES COSTOS Y PERÍODOS DE SOLUCIÓN</b>									
El riesgo principal radica en que las puertas suministradas no cumplan con las dimensiones necesarias, por tanto, habría que proveerse de nuevas puertas lo que generaría un sobre costo excesivo, pues no son puertas sencillas. Además del exceso de trabajo de mano de obra se presentarían los retrasos que conlleva encargar nuevas puertas y premarcos que se ajusten a las dimensiones requeridas. (Ver Tabla siguiente para costo total de interferencias de este tipo)		Se debe costear el salario del modelador que haga las correcciones. No se presentan retrasos del proyecto.							
<b>DIFERENCIA DE COSTES</b>									
<p>The chart displays two 3D bar-like structures representing costs. The first structure, colored green, represents the 'METODOLOGÍA TRADICIONAL' with a value of \$85,927,756.20. The second structure, colored cyan, represents the 'METODOLOGÍA BIM' with a value of \$338,100.00. The vertical axis is labeled with dollar amounts from \$0 to \$80,000,000.00 in increments of \$20,000,000.00. A legend on the right identifies the colors for each methodology.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Metodología</th> <th>Costo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>METODOLOGÍA TRADICIONAL</td> <td>\$85.927.756,20</td> </tr> <tr> <td>METODOLOGÍA BIM</td> <td>\$338.100,00</td> </tr> </tbody> </table>				Metodología	Costo	METODOLOGÍA TRADICIONAL	\$85.927.756,20	METODOLOGÍA BIM	\$338.100,00
Metodología	Costo								
METODOLOGÍA TRADICIONAL	\$85.927.756,20								
METODOLOGÍA BIM	\$338.100,00								

**Nota.** La tabla muestra las comparativas de solución entre la metodología BIM y la metodología tradicional (CAD) para una interferencia presentada entre el sistema estructural y el arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 14**

*Cuantificación de interferencia con puertas, costo y tiempo de solución con metodología tradicional*

UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNT	TOTAL
Puertas en vidrio cristal incolor templado de 10mm. Dimensiones de la puerta 1,22mts*2,05mts incluye instalación.	Und	46	\$ 1.838.554,00	\$ 84.573.484,00
Desmote marcos y puertas	m2	92	\$ 13.495,00	\$ 1.241.540,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 85.815.024,00</b>
<b>TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)</b>				<b>10</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos y tiempos de solución de la interferencia presentada con las puertas empleando metodología tradicional. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 15**

*Cuantificación de interferencia con ventanas, costo y tiempo de solución total con metodología tradicional*

UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNT	TOTAL
Desmote de ventana	m2	20,7	\$ 5.446,00	\$ 112.732,20
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 112.732,20</b>
<b>TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)</b>				<b>3</b>
<b>COSTO TOTAL INTERFERENCIA PUERTAS + VENTANAS</b>				<b>\$ 85.927.756,20</b>
<b>TIEMPO TOTAL DE CORRECCIÓN PUERTAS + VENTANAS (DÍAS)</b>				<b>13</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos y tiempos de solución de la interferencia presentada con las ventanas, así como el cálculo de costos y tiempos totales para ambas interferencias, empleando metodología tradicional. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 16**

*Costo y tiempo de solución de interferencia con metodología BIM*

CUADRILLA/AGENTE	SALARIO/M2	CANTIDAD/M2	TOTAL
Modelador BIM	\$ 3.000,00	112,7	\$ 338.100,00
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 338.100,00</b>
<b>TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)</b>			<b>0,25</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos y tiempos de solución de la interferencia presentada, proyectados mediante la implementación de la metodología BIM. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 17***Ficha de Interferencia No. 5*

<b>FICHA DE INTERFERENCIA</b>	No. 5	<b>FACTOR DE RIESGO</b>	LEVE						
<b>SISTEMAS INVOLUCRADOS</b>	EST + ARQ								
<b>DESCRIPCIÓN</b>									
Las escaleras del primer piso atraviesan la losa correspondiente al segundo nivel. Se interceptan en una distancia de 0,07 m que comprende un escalón.									
<b>METODOLOGÍA TRADICIONAL</b>		<b>METODOLOGÍA BIM</b>							
Evidenciado durante el trazado de ejes y formaleteo de la escalera. Debido a que tanto la escalera como la losa comprenden parte estructural, en obra debería reajustarse la que menores riesgos proporcione. Y en este sentido, debería corregirse la estructura de las escaleras.		El arquitecto debe evaluar las modificaciones de las escaleras para que el modelador realice los cambios requeridos para alcanzar el segundo nivel sin atravesar la losa.							
<b>POSIBLES COSTOS Y PERÍODOS DE SOLUCIÓN</b>									
El proyectista debe rediseñar las escaleras, se presentarían costos de desmonte y montaje de formaletas, además de los retrasos debidos al rediseño, predimensionamiento y al tiempo en recursos de mano de obra.		Se debe costear el salario del modelador que haga las correcciones. No se presentan retrasos del proyecto.							
<b>DIFERENCIA DE COSTES</b>									
<p>The chart displays two 3D bar-like structures representing costs. The taller structure, colored green, represents the traditional methodology with a cost of \$2,914,864.66. The shorter structure, colored cyan, represents the BIM methodology with a cost of \$189,736.00. The vertical axis is labeled with dollar amounts from \$0,00 to \$3,000,000,00 in increments of \$500,000,00. A legend on the right identifies the green color as 'METODOLOGÍA TRADICIONAL' and the cyan color as 'METODOLOGÍA BIM'.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Metodología</th> <th>Costo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>METODOLOGÍA TRADICIONAL</td> <td>\$ 2.914.864,66</td> </tr> <tr> <td>METODOLOGÍA BIM</td> <td>\$ 189.736,00</td> </tr> </tbody> </table>				Metodología	Costo	METODOLOGÍA TRADICIONAL	\$ 2.914.864,66	METODOLOGÍA BIM	\$ 189.736,00
Metodología	Costo								
METODOLOGÍA TRADICIONAL	\$ 2.914.864,66								
METODOLOGÍA BIM	\$ 189.736,00								

**Nota.** La tabla muestra las comparativas de solución entre la metodología BIM y la metodología tradicional (CAD) para una interferencia presentada entre el sistema estructural y el arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 18**

*Cuantificación de costo de materiales para solución de interferencia con metodología tradicional*

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNT	TOTAL
HERRAMIENTA MENOR	% MO	0,03	\$ 2.829.965,69	\$ 84.898,97
TOTAL				\$ 84.898,97

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos de materiales para la solución de la interferencia presentada con las escaleras, empleando metodología tradicional. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 19**

*Cuantificación costos por mano de obra, costos totales y tiempos de solución empleando metodología tradicional*

CUADRILLA	JORNAL	CANTIDAD/M3	CANTIDAD (M3)	TOTAL
AA	\$ 23.821,26	30	3,96	\$ 2.829.965,69
TOTAL				\$ 2.829.965,69
COSTO TOTAL				\$ 2.914.864,66
TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)				12

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos de mano de obra para la solución de la interferencia presentada, así como el costo y tiempo total de solución, empleando metodología tradicional. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 20**

*Costo y tiempo de solución de interferencia con metodología BIM*

CUADRILLA/AGENTE	SALARIO	CANTIDAD	TOTAL
Arquitecto (por hr)	\$ 15.050,00	8	\$ 120.400,00
Modelador BIM (por m <sup>2</sup> )	\$ 3.000,00	23,112	\$ 69.336,00
COSTO TOTAL			\$ 189.736,00
TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)			1,25

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos y tiempos de solución de la interferencia presentada, proyectados mediante la implementación de la metodología BIM. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 21***Ficha de Interferencia No. 6*

<b>FICHA DE INTERFERENCIA</b>	No. 6	<b>FACTOR DE RIESGO</b>	MODERADO						
<b>SISTEMAS INVOLUCRADOS</b>	EST + HID								
<b>DESCRIPCIÓN</b>									
Tubería hidráulica atravesando varias zapatas del edificio.									
<b>METODOLOGÍA TRADICIONAL</b>		<b>METODOLOGÍA BIM</b>							
En obra se podría apreciar el conflicto una vez hechas las excavaciones requeridas para ubicar las tuberías. El ingeniero hidráulico debe evaluar la interferencia.		Después de detectada la interferencia, el ingeniero hidráulico plantea la solución, y el modelador debe hacer los ajustes correspondientes para evitar la colisión.							
<b>POSIBLES COSTOS Y PERÍODOS DE SOLUCIÓN</b>									
Se requiere un análisis por parte del ingeniero hidráulico. Una vez revaluado, se debería realizar la excavación a una distancia considerable respecto de las zapatas.		Se debe retribuir monetariamente al ingeniero hidráulico y al modelador BIM, implicados en realizar las modificaciones pertinentes.							
<b>DIFERENCIA DE COSTES</b>									
<p>A 3D bar chart comparing the costs of two methodologies. The vertical axis represents cost in dollars, ranging from \$0,00 to \$1,200,000,00 in increments of \$300,000,00. The horizontal axis shows two bars: a tall green bar for 'METODOLOGÍA TRADICIONAL' with a value of \$1,163,292,62, and a much shorter cyan bar for 'METODOLOGÍA BIM' with a value of \$194,080,00. A legend on the right identifies the colors: green for traditional methodology and cyan for BIM methodology.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Metodología</th> <th>Costo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>METODOLOGÍA TRADICIONAL</td> <td>\$ 1.163.292,62</td> </tr> <tr> <td>METODOLOGÍA BIM</td> <td>\$ 194.080,00</td> </tr> </tbody> </table>				Metodología	Costo	METODOLOGÍA TRADICIONAL	\$ 1.163.292,62	METODOLOGÍA BIM	\$ 194.080,00
Metodología	Costo								
METODOLOGÍA TRADICIONAL	\$ 1.163.292,62								
METODOLOGÍA BIM	\$ 194.080,00								

**Nota.** La tabla muestra las comparativas de solución entre la metodología BIM y la metodología tradicional (CAD) para una interferencia presentada entre el sistema estructural y el hidráulico. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 22**

*Cuantificación de costos por unitarios de solución de interferencia con metodología tradicional*

UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNT	TOTAL
Excavación manual	m3	20,533	\$ 31.897,00	\$ 654.941,10
Rellenos de excavación compactado	m3	22,514	\$ 16.894,00	\$ 380.351,52
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 1.035.292,62</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos por unitarios de solución de la interferencia presentada, bajo una proyección de metodología tradicional. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 23**

*Cuantificación costos por mano de obra, costos totales y tiempos de solución empleando metodología tradicional*

CUADRILLA/AGENTE	JORNAL	CANTIDAD HR	TOTAL
Ingeniero Hidráulico	\$ 16.000,00	8	\$ 128.000,00
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 1.163.292,62</b>
<b>TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)</b>			<b>4,7</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos por mano de obra de solución de la interferencia presentada, bajo una proyección de metodología tradicional. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 24**

*Cuantificación de mano de obra y tiempo de solución de interferencia con metodología BIM*

CUADRILLA/AGENTE	SALARIO	CANTIDAD	TOTAL
Ingeniero Hidráulico (por hr)	\$ 16.000,00	8	\$ 128.000,00
Modelador BIM (por ML)	\$ 4.000,00	16,52	\$ 66.080,00
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 194.080,00</b>
<b>TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)</b>			<b>1,125</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos y tiempos de solución de la interferencia presentada, proyectados mediante la implementación de la metodología BIM. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25

Ficha de Interferencia No. 7

<b>FICHA DE INTERFERENCIA</b>	No. 7	<b>FACTOR DE RIESGO</b>	GRAVE
<b>SISTEMAS INVOLUCRADOS</b>	EST + HID		
<b>DESCRIPCIÓN</b>			
La mayoría de las colisiones presentadas entre el sistema estructural y el hidráulico corresponden a tuberías que atraviesan las vigas y viguetas de la estructura.			
<b>METODOLOGÍA TRADICIONAL</b>		<b>METODOLOGÍA BIM</b>	
Dada la gran cantidad de colisiones de este tipo, se evidenciaría el error al momento de enmarcar las rutas para ubicar las tuberías. Y ya que el sistema estructural debe tener prioridad frente a las redes, debe reevaluarse la coordinación vertical y horizontal de las redes hidráulicas.		Una vez detectadas las colisiones, el ingeniero hidráulico debe evaluar nuevamente la coordinación de las redes, y posteriormente el coordinador BIM, que puede o no cumplir las funciones de modelador, debe hacer los ajustes correspondientes para evitar la colisión.	
<b>POSIBLES COSTOS Y PERÍODOS DE SOLUCIÓN</b>			
El ingeniero hidráulico determina las profundidades requeridas de las tuberías para que se sitúen por debajo del nivel de las vigas y viguetas. El retraso de la obra es inminente mientras se realiza la adecuada planeación.		Se deben costear las horas de trabajo del ingeniero hidráulico y del coordinador BIM o modelador implicados en realizar las modificaciones pertinentes.	
<b>DIFERENCIA DE COSTES</b>			
<p>El gráfico muestra una comparación de costos entre dos metodologías. El eje vertical representa el costo en dólares, con marcas a \$200.000,00, \$400.000,00, \$600.000,00, \$800.000,00 y \$1.000.000,00. Hay dos barras 3D: una verde que representa la Metodología Tradicional con un costo de \$800.000,00, y una azul que representa la Metodología BIM con un costo de \$766.400,00. Una leyenda a la derecha indica que el verde es 'METODOLOGÍA TRADICIONAL' y el azul es 'METODOLOGÍA BIM'.</p>			

**Nota.** La tabla muestra las comparativas de solución entre la metodología BIM y la metodología tradicional (CAD) para una interferencia presentada entre el sistema estructural y el hidráulico. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 26**

*Cuantificación costos por mano de obra y tiempo de solución de interferencia empleando metodología tradicional*

<b>CUADRILLA/AGENTE</b>	<b>JORNAL</b>	<b>CANTIDAD HR</b>	<b>TOTAL</b>
Ingeniero Hidráulico	\$ 16.000,00	50	\$ 800.000,00
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 800.000,00</b>
<b>TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)</b>			<b>6,25</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos y tiempos de solución de la interferencia presentada, bajo una proyección de metodología tradicional. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 27**

*Costo y tiempo de solución de interferencia empleando metodología BIM*

<b>CUADRILLA/AGENTE</b>	<b>SALARIO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TOTAL</b>
Ingeniero Hidráulico (por hr)	\$ 16.000,00	35	\$ 560.000,00
Coordinador BIM (por ML)	\$ 4.000,00	51,6	\$ 206.400,00
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 766.400,00</b>
<b>TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)</b>			<b>4,6</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos y tiempos de solución de la interferencia presentada, proyectados mediante la implementación de la metodología BIM. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28

Ficha de Interferencia No. 8

<b>FICHA DE INTERFERENCIA</b>	No. 8	<b>FACTOR DE RIESGO</b>	MODERADO						
<b>SISTEMAS INVOLUCRADOS</b>	HID + SAN								
<b>DESCRIPCIÓN</b>									
Se presenta un cruce de tubería sanitaria bajante con algunas de las cajas de llave de paso correspondientes al sistema hidráulico.									
<b>METODOLOGÍA TRADICIONAL</b>		<b>METODOLOGÍA BIM</b>							
Error no previsto en fases de diseño ni en la enmarcación para realizar las regatas en los muros. El ingeniero hidráulico tendrá que evaluar las correcciones para reubicar las tuberías.		Planeación indebida para ubicar las redes hidráulicas y sanitarias. Al ser previsto a tiempo, el ingeniero hidráulico puede hacer las correcciones pertinentes para que el modelador BIM las ejecute en los modelos.							
<b>POSIBLES COSTOS Y PERÍODOS DE SOLUCIÓN</b>									
Dado que se recomienda que las tuberías sanitarias tengan un sólo recorrido sin quiebres evitando extender las redes demasiado, se debería desplazar la tubería hidráulica, junto con la caja de llave de paso evitando que se presente conflicto con la red sanitaria.		Se presentan los costos de trabajo del ingeniero hidráulico y el modelador BIM. No hay riesgos de retraso en la obra al ser un conflicto detectado en la planeación del proyecto.							
<b>DIFERENCIA DE COSTES</b>									
<p>The chart displays two 3D bar blocks representing costs. The taller block, colored green, represents the 'METODOLOGÍA TRADICIONAL' with a value of \$2,999,248.80. The shorter block, colored cyan, represents the 'METODOLOGÍA BIM' with a value of \$654,400.00. The vertical axis is labeled with monetary values from \$0,00 to \$3,000,000.00 in increments of \$500,000.00. A legend on the right identifies the colors for each methodology.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Metodología</th> <th>Costo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>METODOLOGÍA TRADICIONAL</td> <td>\$ 2.999.248,80</td> </tr> <tr> <td>METODOLOGÍA BIM</td> <td>\$ 654.400,00</td> </tr> </tbody> </table>				Metodología	Costo	METODOLOGÍA TRADICIONAL	\$ 2.999.248,80	METODOLOGÍA BIM	\$ 654.400,00
Metodología	Costo								
METODOLOGÍA TRADICIONAL	\$ 2.999.248,80								
METODOLOGÍA BIM	\$ 654.400,00								

**Nota.** La tabla muestra las comparativas de solución entre la metodología BIM y la metodología tradicional (CAD) para una interferencia presentada entre el sistema hidráulico y el sanitario. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 29**

*Cuantificación costos por unitarios para solución de interferencia empleando metodología tradicional*

UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNT	TOTAL
Retiro de tubería de 0 a 12" No incl. Excavación	ML	131,6	\$ 4.662,00	\$ 613.519,20
Suministro e instalación de tubería 2" PVC, incluye accesorios	ML	131,6	\$ 17.156,00	\$ 2.257.729,60
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 2.871.248,80</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos por unitarios para la solución de la interferencia presentada, bajo una proyección de metodología tradicional. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 30**

*Cuantificación por mano de obra, costos totales y tiempo de solución empleando metodología tradicional*

CUADRILLA/AGENTE	JORNAL	CANTIDAD HR	TOTAL
Ingeniero Hidráulico	\$ 16.000,00	8	\$ 128.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 128.000,00</b>
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 2.999.248,80</b>
<b>TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)</b>			<b>3</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos por mano de obra, así como los costos y tiempos totales de solución de la interferencia presentada, bajo una proyección de metodología tradicional. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 31**

*Costo y tiempo de solución de interferencia empleando metodología BIM*

CUADRILLA/AGENTE	SALARIO	CANTIDAD	TOTAL
Ingeniero Hidráulico (por hr)	\$ 16.000,00	8	\$ 128.000,00
Modelador BIM (por ML)	\$ 4.000,00	131,6	\$ 526.400,00
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 654.400,00</b>
<b>TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)</b>			<b>1,5</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos y tiempos de solución de la interferencia presentada, proyectados mediante la implementación de la metodología BIM. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32

Ficha de Interferencia No. 9

FICHA DE INTERFERENCIA	No. 9	FACTOR DE RIESGO	LEVE						
SISTEMAS INVOLUCRADOS	HID + SAN								
DESCRIPCIÓN									
Algunas tuberías hidráulicas del primer piso atraviesan los muros que conforman las cajas de inspección del sistema sanitario.									
METODOLOGÍA TRADICIONAL		METODOLOGÍA BIM							
El error podría evidenciarse en la enmarcación del terreno para proyectar la ubicación de las tuberías.		Una vez evaluada y rediseñada la distribución de las redes por parte del ingeniero hidráulico, se modificarían estas en los modelos desarrollados.							
POSIBLES COSTOS Y PERÍODOS DE SOLUCIÓN									
El ingeniero hidráulico tendría que evaluar el rediseño de la distribución de las redes para el primer nivel, añadiendo tramos de tubería hidráulica de manera que se rodeen las cajas de inspección.		No se generan sobrecostos ni retrasos, únicamente costo de mano de obra. La modificación de la coordinación horizontal de las redes debería evitar cualquier conflicto entre el sistema hidráulico y sanitario.							
DIFERENCIA DE COSTES									
<p>The chart displays two 3D bar-like structures representing costs. The first structure, colored green, represents the traditional methodology with a value of \$243,682.18. The second structure, colored cyan, represents the BIM methodology with a value of \$144,584.00. The vertical axis is labeled with monetary values from \$0,00 to \$250,000,00 in increments of \$50,000,00. A legend on the right identifies the green color as 'METODOLOGÍA TRADICIONAL' and the cyan color as 'METODOLOGÍA BIM'.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Metodología</th> <th>Costo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>METODOLOGÍA TRADICIONAL</td> <td>\$ 243.682,18</td> </tr> <tr> <td>METODOLOGÍA BIM</td> <td>\$ 144.584,00</td> </tr> </tbody> </table>				Metodología	Costo	METODOLOGÍA TRADICIONAL	\$ 243.682,18	METODOLOGÍA BIM	\$ 144.584,00
Metodología	Costo								
METODOLOGÍA TRADICIONAL	\$ 243.682,18								
METODOLOGÍA BIM	\$ 144.584,00								

**Nota.** La tabla muestra las comparativas de solución entre la metodología BIM y la metodología tradicional (CAD) para una interferencia presentada entre el sistema hidráulico y el sanitario. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 33**

*Cuantificación costos por unitarios para solución de interferencia empleando metodología tradicional*

UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNT	TOTAL
Excavación manual	m3	1,204	\$ 31.897,00	\$ 38.403,99
Rellenos de excavación compactado	m3	0,364	\$ 16.894,00	\$ 6.149,42
Suministro e instalación de tubería 2" PVC, incluye accesorios	ML	4,146	\$ 17.156,00	\$ 71.128,78
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>\$ 115.682,18</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos por unitarios para la solución de la interferencia presentada, bajo una proyección de metodología tradicional. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 34**

*Cuantificación costos por mano de obra, costos totales y tiempo de solución de interferencia empleando metodología tradicional*

CUADRILLA/AGENTE	JORNAL	CANTIDAD HR	TOTAL
Ingeniero Hidráulico	\$ 16.000,00	8	\$ 128.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 128.000,00</b>
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 243.682,18</b>
<b>TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)</b>			<b>3</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos por mano de obra, así como los costos y tiempos totales de solución de la interferencia presentada, bajo una proyección de metodología tradicional. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 35**

*Costo y tiempo de solución de interferencia empleando metodología BIM*

CUADRILLA/AGENTE	SALARIO	CANTIDAD	TOTAL
Ingeniero Hidráulico (por hr)	\$ 16.000,00	8	\$ 128.000,00
Modelador BIM (por ML)	\$ 4.000,00	4,146	\$ 16.584,00
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 144.584,00</b>
<b>TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)</b>			<b>1,25</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos y tiempos de solución de la interferencia presentada, proyectados mediante la implementación de la metodología BIM. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 36***Ficha de Interferencia No. 10*

<b>FICHA DE INTERFERENCIA</b>	No. 10	<b>FACTOR DE RIESGO</b>	GRAVE
<b>SISTEMAS INVOLUCRADOS</b>	HID + SAN		
<b>DESCRIPCIÓN</b>			
Tuberías hidráulicas y sanitarias ubicadas en la misma posición, se muestran superpuestas, unas dentro de otras. Factor de riesgo grave pues las redes hidráulicas no deben cruzarse con las sanitarias.			
<b>METODOLOGÍA TRADICIONAL</b>		<b>METODOLOGÍA BIM</b>	
Una vez enmarcadas las rutas que deberían seguir las tuberías, se evidenciaría la colisión entre algunas de ellas.		Mediante el análisis de interferencias en Navisworks se visualiza la colisión entre las tuberías, por lo que se requiere un análisis del ingeniero hidráulico para evaluar el desplazamiento de las tuberías evitando que se solapen.	
<b>POSIBLES COSTOS Y PERÍODOS DE SOLUCIÓN</b>			
El ingeniero hidráulico deberá hacer un rediseño de la ubicación de cada tubería, proceso que se complica empleando planos de dibujo en 2D. Todas estas modificaciones generarán retrasos y sobrecostos a la obra, pues la instalación de redes requiere especial cuidado y personal especializado.		Conflictos corregidos en la planeación del proyecto. Se genera únicamente inversión en tiempo para la adecuada planeación y corrección y los costos debidos a la mano de obra.	
<b>DIFERENCIA DE COSTES</b>			
<p>Gráfico de barras 3D que muestra la diferencia de costos entre la metodología tradicional y BIM. El eje vertical representa el costo en dólares, desde \$ 0,00 hasta \$ 2.000.000,00. La barra verde (METODOLOGÍA TRADICIONAL) tiene un valor de \$ 640.000,00. La barra azul (METODOLOGÍA BIM) tiene un valor de \$ 1.722.400,00. Una leyenda a la derecha indica que el verde es para la metodología tradicional y el azul para la metodología BIM.</p>			

**Nota.** La tabla muestra las comparativas de solución entre la metodología BIM y la metodología tradicional (CAD) para una interferencia presentada entre el sistema hidráulico y el sanitario. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 37**

*Costo y tiempo de solución de interferencia con metodología tradicional*

<b>CUADRILLA/AGENTE</b>	<b>JORNAL</b>	<b>CANTIDAD HR</b>	<b>TOTAL</b>
Ingeniero Hidráulico	\$ 16.000,00	40	\$ 640.000,00
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 640.000,00</b>
<b>TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)</b>			<b>5</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos por mano de obra, y los tiempos de solución de la interferencia presentada, bajo una proyección de metodología tradicional. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 38**

*Costo y tiempo de solución de interferencia mediante metodología BIM*

<b>CUADRILLA/AGENTE</b>	<b>SALARIO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TOTAL</b>
Ingeniero Hidráulico (por hr)	\$ 16.000,00	16	\$ 256.000,00
Modelador BIM (por ML)	\$ 4.000,00	366,6	\$ 1.466.400,00
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 1.722.400,00</b>
<b>TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)</b>			<b>3</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos y tiempos de solución de la interferencia presentada, proyectados mediante la implementación de la metodología BIM. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39

Ficha de Interferencia No. 11

FICHA DE INTERFERENCIA	No. 11	FACTOR DE RIESGO	MODERADO						
SISTEMAS INVOLUCRADOS	HID + ARQ								
DESCRIPCIÓN									
Uno de los tramos de tubería hidráulica del primer nivel se muestra expuesta debido a las pendientes del terreno. No se encuentra a la profundidad adecuada.									
METODOLOGÍA TRADICIONAL		METODOLOGÍA BIM							
El problema podría apreciarse una vez creadas las zanjas y ubicadas las tuberías. El proyectista deberá evaluar pendientes y niveles del terreno.		Se puede apreciar a simple vista la tubería expuesta; se controla mediante cambio de pendiente y se informa al ingeniero hidráulico.							
POSIBLES COSTOS Y PERÍODOS DE SOLUCIÓN									
Se hace necesario evaluar una profundidad de excavación permisible para resguardar todas las tuberías hidráulicas. El ingeniero hidráulico deberá determinar las nuevas condiciones y pendientes para dicho tramo.		Costos debidos a la carga de trabajo del modelador BIM para realizar las correcciones. No se presentan retrasos en la obra.							
DIFERENCIA DE COSTES									
<p>The chart shows a significant cost difference between the two methodologies. The traditional methodology costs \$2,117,721.40, while the BIM methodology costs \$255,428.00. The Y-axis represents cost in dollars, ranging from \$0,00 to \$2,500,000,00 in increments of \$500,000,00.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Metodología</th> <th>Costo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>METODOLOGÍA TRADICIONAL</td> <td>\$ 2.117.721,40</td> </tr> <tr> <td>METODOLOGÍA BIM</td> <td>\$ 255.428,00</td> </tr> </tbody> </table>				Metodología	Costo	METODOLOGÍA TRADICIONAL	\$ 2.117.721,40	METODOLOGÍA BIM	\$ 255.428,00
Metodología	Costo								
METODOLOGÍA TRADICIONAL	\$ 2.117.721,40								
METODOLOGÍA BIM	\$ 255.428,00								

**Nota.** La tabla muestra las comparativas de solución entre la metodología BIM y la metodología tradicional (CAD) para una interferencia presentada entre el sistema hidráulico y el arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 40**

*Cuantificación costos por unitarios para solución de interferencia empleando metodología tradicional*

UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNT	TOTAL
Retiro de tubería de 0 a 12" No incl. Excavación	ML	63,857	\$ 4.662,00	\$ 297.701,33
Excavación manual	m3	4,803	\$ 31.897,00	\$ 153.201,29
Suministro e instalación de tubería 2" PVC, incluye accesorios	ML	63,857	\$ 17.156,00	\$ 1.095.530,69
Relleno en triturado para atraques y tuberías, incl. Suministros y compactación	m3	4,803	\$ 92.294,00	\$ 443.288,08
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 1.989.721,40</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos por unitarios para la solución de la interferencia presentada, bajo una proyección de metodología tradicional. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 41**

*Cuantificación costos por mano de obra, costos totales y tiempos de solución de interferencia empleando metodología tradicional*

CUADRILLA/AGENTE	JORNAL	CANTIDAD HR	TOTAL
Ingeniero Hidráulico	\$ 16.000,00	8	\$ 128.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 128.000,00</b>
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 2.117.721,40</b>
<b>TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)</b>			<b>4</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos por mano de obra, y los tiempos de solución de la interferencia presentada, bajo una proyección de metodología tradicional. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 42**

*Costo y tiempo de solución de interferencia empleando metodología BIM*

CUADRILLA/AGENTE	SALARIO/ML	CANTIDAD/ML	TOTAL
Modelador BIM	\$ 4.000,00	63,857	\$ 255.428,00
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 255.428,00</b>
<b>TIEMPO APROXIMADO DE CORRECCIÓN (DÍAS)</b>			<b>0,25</b>

**Nota.** La tabla es un estimativo de los costos y tiempos de solución de la interferencia presentada, proyectados mediante la implementación de la metodología BIM. Fuente: Elaboración propia.

### 3.5 Generación de planillas de cómputo de cantidades de obra

**3.5.1 Sistema arquitectónico.** A continuación, se detallan las cantidades de obra generales para barandas, muros, pisos, puertas y ventanas.

**Tabla 43**

*Planilla de cómputo de cantidades de barandas*

BARANDAS	UNIDAD	CANTIDAD
Tubería rectangular h=0,90m	ML	714,75
Tubería rectangular h=0,60m	ML	352,52
Tubería rectangular h=01,20m	ML	30,93
Tubería rectangular h=2,20m	ML	35,21
TOTAL	ML	1133,41

**Nota:** La tabla muestra las cantidades de barandas en metros lineales de acuerdo a las distintas alturas. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 44**

*Planilla de cómputo de cantidades de muro*

MUROS	UNIDAD	CANTIDAD
Espesor 0,05m	M2	258,00
Espesor 0,08m	M2	108,00
Espesor 0,1m	M2	483,00
Espesor 0,15m	M2	15008,00
Espesor 0,2m (Muro estructural)	M2	53,00
Espesor 0,25m	M2	151,00
Espesor 0,3m	M2	10,00
Espesor 0,4m	M2	11,00
Cortina	M2	27,00
TOTAL	M2	16109,00

**Nota:** La tabla muestra las cantidades de muro en metros cuadrados de los diferentes espesores. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 45***Planilla de cómputo para pisos*

<b>PISOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Espesor 0,07m	M2	9922,00

**Nota:** La tabla muestra las cantidades de pisos en metros cuadrados. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 46***Planilla de cómputo para puertas*

<b>PUERTAS</b>	<b>ANCHO</b>	<b>ALTO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Tipo 1	2.40 m	4.50 m	UN	1
Tipo 2	2.17 m	1.20 m	UN	1
Tipo 3	2.50 m	1.80 m	UN	2
Tipo 4	2.74 m	1.90 m	UN	1
Tipo 5	2.06 m	1.98 m	UN	2
Tipo 6	2.13 m	1.32 m	UN	39
Tipo 7	2.11 m	0.60 m	UN	174
Tipo 8	2.09 m	0.98 m	UN	2
Tipo 9	2.09 m	0.80 m	UN	194
Tipo 10	2.09 m	0.75 m	UN	18
Tipo 11	2.09 m	0.98 m	UN	1
Tipo 12	1.98 m	0.60 m	UN	7
Tipo 13	2.48 m	0.95 m	UN	1
Tipo 14	2.18 m	0.95 m	UN	3
Tipo 15	2.40 m	1.40 m	UN	1
Tipo 16	2.11 m	0.91 m	UN	93
Tipo 17	2.13 m	0.90 m	UN	1
Tipo 18	2.13 m	1.00 m	UN	1
Tipo 19	2.14 m	1.10 m	UN	94
Tipo 20	2.14 m	1.00 m	UN	78
Tipo 21	2.14 m	1.90 m	UN	1
Tipo 22	2.14 m	2.15 m	UN	9
Tipo 23	2.14 m	1.50 m	UN	5
Tipo 24	2.14 m	2.60 m	UN	40
Tipo 25	1.98 m	0.98 m	UN	4
Tipo 26	2.17 m	0.93 m	UN	3
Tipo 27	2.11 m	0.93 m	UN	1
Tipo 28	2.11 m	0.86 m	UN	1
<b>TOTAL</b>			<b>UN</b>	<b>778</b>

**Nota:** La tabla muestra las cantidades de puertas con sus respectivas medidas. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 47***Planilla de cómputo para ventanas*

<b>VENTANAS</b>	<b>ANCHO</b>	<b>ALTO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Tipo 1	2.00 m	1.01 m	UN	1
Tipo 2	0.60 m	0.60 m	UN	3
Tipo 3	1.25 m	0.60 m	UN	1
Tipo 4	0.30 m	0.50 m	UN	1
Tipo 5	2.725 m	1.00 m	UN	4
Tipo 6	2.20 m	0.46 m	UN	1
Tipo 7	0.96 m	0.46 m	UN	1
Tipo 8	0.94 m	0.46 m	UN	1
Tipo 9	0.64 m	0.46 m	UN	1
Tipo 10	0.55 m	1.00 m	UN	2
Tipo 11	0.98 m	1.19 m	UN	1
Tipo 12	0.68 m	1.19 m	UN	1
Tipo 13	1.15 m	1.80 m	UN	39
Tipo 14	1.10 m	1.80 m	UN	129
Tipo 15	1.20 m	1.40 m	UN	79
Tipo 16	2.00 m	1.35 m	UN	5
Tipo 17	4.00 m	2.30 m	UN	2
Tipo 18	0.60 m	0.60 m	UN	167
Tipo 19	0.60 m	1.30 m	UN	9
Tipo 20	1.00 m	1.00 m	UN	79
Tipo 21	2.10 m	1.00 m	UN	1
Tipo 22	4.00 m	2.00 m	UN	1
Tipo 23	3.65 m	2.00 m	UN	1
Tipo 24	3.00 m	2.00 m	UN	1
Tipo 25	4.45 m	2.00 m	UN	2
Tipo 26	2.50 m	1.20 m	UN	1
<b>TOTAL</b>			UN	534

**Nota:** La tabla muestra las cantidades de ventanas con sus respectivas medidas. Fuente: Elaboración propia.

**3.5.2 Sistema estructural.** A continuación, se detallan las cantidades de obra para el sistema estructural de vigas, columnas, losas y cimentación.

**Tabla 48***Planillas de cómputo para el concreto del sistema estructural*

CONCRETO	UNIDAD	CANTIDAD
Vigas Aéreas	M3	929,50
Vigas de amarre	M3	79,10
Columnas	M3	297,44
Pedestales	M3	40,99
Zapatas	M3	166,91
Losa espesor 0,15m	M3	9,97
Losa espesor 0,08m	M3	67,72
TOTAL	M3	1591,63

**Nota:** La tabla muestra las cantidades de concreto en metros cúbicos para los diferentes elementos que componen el sistema estructural.

**3.5.3 Sistema hidráulico.** A continuación, se detallan las cantidades de obra para las tuberías, accesorios y aparatos hidráulicos.

**Tabla 49***Planilla de cómputo para tubería hidráulica*

TUBERIA PAVCO	UNIDAD	CANTIDAD
Diámetro 1/2"	ML	678,95
Diámetro 1"	ML	2902,11
Diámetro 1 1/2"	ML	121,6
Diámetro 2"	ML	84,16
Diámetro 2 1/2"	ML	30,28

**Nota:** La tabla muestra las cantidades de tubería hidráulica en metros lineales con sus respectivos diámetros. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 50***Planilla de cómputo para cantidades de accesorios hidráulicos*

<b>ACCESORIOS HIDRAULICOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Adaptador Macho 1"ø-1"ø	UN	10
Adaptador Macho 1/2"ø-1/2"ø	UN	10
Boya 2"ø	UN	1
Buje Soldado 1 1/2"ø-1"ø	UN	1
Buje Soldado 1"ø-1"ø	UN	12
Buje Soldado 1"ø-1/2"ø	UN	1221
Buje Soldado 2"ø-1 1/2"ø	UN	2
Buje Soldado 2"ø-2"ø	UN	3
Buje Soldado 3"ø-2"ø	UN	1
Buje Soldado 3"ø-3"ø	UN	1
Buje Soldado 4"ø-1"ø	UN	3
Buje Soldado 4"ø-2"ø	UN	4
Codo 1 1/2"ø-1 1/2"ø	UN	14
Codo 1"ø-1"ø	UN	2716
Codo 1/2"ø-1/2"ø	UN	1160
Codo 2 1/2"ø-2 1/2"ø	UN	2
Codo 2"ø-2"ø	UN	17
Codo 3"ø-3"ø	UN	1
Brida reductora CS - Class 150 2 1/2"ø-1 1/2"ø	UN	2
MEDIDOR DE AGUA 3/1 1"ø-1"ø	UN	1
MEDIDOR DE AGUA 3/2 1"ø-1"ø	UN	1
MEDIDOR DE AGUA 3/3 1"ø-1"ø	UN	1
MEDIDOR DE AGUA 3/5 1"ø-1"ø	UN	1
Adaptador terminal - PVC - Sch 40 - DWV 1"ø	UN	10
Adaptador terminal - PVC - Sch 40 - DWV 1/2"ø	UN	10
Reducción - PVC - Sch 40 - DWV 2 1/2"ø-1 1/2"ø	UN	1
Reducción - PVC - Sch 40 - DWV 3"ø-2 1/2"ø	UN	2
Reducción - PVC - Sch 40 - DWV 3"ø-2"ø	UN	2
Reducción - PVC - Sch 40 - DWV 4"ø-3"ø	UN	6
Tapon-PVCPresion 1"ø	UN	144
Tapon-PVCPresion 1/2"ø	UN	644
Tapon-PVCPresion 3"ø	UN	1
Tee-PVCPresion 1 1/2"ø-1 1/2"ø-1 1/2"ø	UN	15
Tee-PVCPresion 1"ø-1"ø-1"ø	UN	832
Tee-PVCPresion 2 1/2"ø-2 1/2"ø-2 1/2"ø	UN	4
Tee-PVCPresion 2"ø-2"ø-2"ø	UN	2

**Tabla 50.** Continuación.

Tee-PVCPresion 3"ø-3"ø-3"ø	UN	2
Tee-PVCPresion 4"ø-4"ø-4"ø	UN	3
Union-PVCPresion 1"ø-1"ø	UN	19
Union-PVCPresion 2"ø-2"ø	UN	5
Union-PVCPresion 3"ø-3"ø	UN	1

**Nota:** La tabla muestra las cantidades de accesorios hidráulicos con su respectivo tamaño. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 51**

*Planillas de cómputo para aparatos hidráulicos*

<b>APARATOS HIDRAULICOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Accesorios de plomería tipo 1	UN	1
Accesorios de plomería tipo 2	UN	1
Accesorios de plomería tipo 3	UN	1
Tanque elevado	UN	2
Llave terminal	UN	4
Drain roof	UN	2

**Nota:** La tabla muestra las cantidades de aparatos hidráulicos presentes en el sistema. Fuente: Elaboración propia.

**3.5.4 Sistema sanitario.** A continuación, se detallan las cantidades de obra para las tuberías, accesorios y aparatos sanitarios.

**Tabla 52**

*Planilla de cómputo para tubería sanitaria*

<b>TUBERIA PAVCO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Diámetro 1"	UN	1258,21
Diámetro 1 1/2"	UN	133,50
Diámetro 2"	UN	2649,89
Diámetro 3"	UN	92,35
Diámetro 4"	UN	1026,52
Diámetro 6"	UN	183,10
<b>TOTAL</b>		<b>5343,57</b>

**Nota:** La tabla muestra las cantidades de tubería sanitaria en metros lineales con sus respectivos diámetros. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 53***Planilla de cómputo para cantidades de accesorios sanitarios*

<b>ACCESORIOS SANITARIOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Adaptador Limpieza sanitaria 4"ø	UN	7
Buje 1 1/2"ø-1"ø	UN	2
Buje 2"ø-1"ø	UN	189
Buje 51 mmø-19 mmø	UN	24
Buje Soldado sanitaria 10"ø-6"ø	UN	2
Buje Soldado sanitaria 2"ø-1 1/2"ø	UN	306
Buje Soldado sanitaria 3"ø-2"ø	UN	3
Buje Soldado sanitaria 4"ø-2"ø	UN	253
Buje Soldado sanitaria 4"ø-4"ø	UN	4
Buje Soldado sanitaria 6"ø-2"ø	UN	1
Buje Soldado sanitaria 51 mmø-38 mmø	UN	16
Buje Soldado sanitaria 102 mmø-51 mmø	UN	8
Codo 1"ø-1"ø	UN	225
Codo 19 mmø-19 mmø	UN	48
Codo - sanitario 1 1/2"ø-1 1/2"ø	UN	58
Codo - sanitario 2"ø-2"ø	UN	5
Codo - sanitario 3"ø-3"ø	UN	21
Codo - sanitario 6"ø-6"ø	UN	2
Codo - sanitario 38 mmø-38 mmø	UN	80
Codo CxC-Sanitaria 2"ø-2"ø	UN	2227
Codo CxC-Sanitaria 3"ø-3"ø	UN	3
Codo CxC-Sanitaria 4"ø-4"ø	UN	586
Codo CxC-Sanitaria 51 mmø-51 mmø	UN	232
Codo CxC-Sanitaria 102 mmø-102 mmø	UN	72
Codo CxE 3"ø-3"ø	UN	3
Codo CxE-Sanitario 4"ø-4"ø	UN	9
Codo sanitario reventilado 4"ø-4"ø-2"ø	UN	10
Tee Doble sanitaria - PVC - Sch 40 - DWV 3"ø-3"ø-3"ø-3"ø	UN	6
Sifón 135 CxE_Sanitaria 2"ø-2"ø	UN	6
Sifón 135 CxE_Sanitaria 3"ø-3"ø	UN	2
Sifón 180 CxC_Sanitaria 2"ø-2"ø	UN	473
Sifón Desmontable Completo-Sanitaria 1 1/2"ø-1 1/2"ø	UN	76
Tapon 1"ø	UN	3
Tapon 3"ø	UN	6
Tapon 19 mmø	UN	24
Tapon Macho Roscado-Sanitaria 4"ø	UN	33
Tapon Prueba-Sanitaria 1 1/2"ø	UN	22
Tapon Prueba-Sanitaria 2"ø	UN	149
Tapon Prueba-Sanitaria 3"ø	UN	3
Tapon Prueba-Sanitaria 4"ø	UN	56

**Tabla 53.** Continuación.

Tapon Prueba-Sanitaria 38 mmø	UN	16
Tapon Prueba-Sanitaria 51 mmø	UN	88
Tapon Prueba-Sanitaria 102 mmø	UN	24
Tee 1 1/2"ø-1 1/2"ø-1 1/2"ø	UN	2
Tee 2"ø-2"ø-2"ø	UN	189
Tee 51 mmø-51 mmø-51 mmø	UN	24
Tee - sanitario 1 1/2"ø-1 1/2"ø-1 1/2"ø	UN	7
Tee - sanitario 3"ø-3"ø-3"ø	UN	1
Tee - sanitario 10"ø-10"ø-10"ø	UN	3
Tee - sanitario 38 mmø-38 mmø-38 mmø	UN	16
Tee Doble_Sanitaria 2"ø-2"ø-2"ø-2"ø	UN	9
Tee-Sanitaria 2"ø-2"ø-2"ø	UN	738
Tee-Sanitaria 4"ø-4"ø-4"ø	UN	262
Tee-Sanitaria 6"ø-6"ø-6"ø	UN	1
Tee-Sanitaria 51 mmø-51 mmø-51 mmø	UN	64
Tee-Sanitaria 102 mmø-102 mmø-102 mmø	UN	24
Trap P - PVC - Sch 40 - DWV	UN	4
Union_Sanitaria 2"ø-2"ø	UN	4
Union_Sanitaria 3"ø-3"ø	UN	4
Union_Sanitaria 4"ø-4"ø	UN	12
Union_Sanitaria 6"ø-6"ø	UN	6
Yee Doble Reducida-Sanitaria 2"ø-2"ø-2"ø-2"ø	UN	124
Yee Doble Reducida-Sanitaria 4"ø-4"ø-2"ø-2"ø	UN	10
Yee Doble Reducida-Sanitaria 51 mmø-51 mmø-51 mmø-51 mmø	UN	24
Yee doble-Sanitaria 2"ø-2"ø-2"ø-2"ø	UN	15
Yee doble-Sanitaria 4"ø-4"ø-4"ø-4"ø	UN	75
Yee Reducida-Sanitaria 4"ø-4"ø-2"ø	UN	299
Yee Reducida-Sanitaria 102 mmø-102 mmø-51 mmø	UN	16
Yee-Sanitaria-PAVCO4"ø-4"ø-4"ø	UN	11

**Nota:** La tabla muestra las cantidades de accesorios sanitarios con su respectivo tamaño. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 54**

*Planillas de cómputo para aparatos sanitarios*

<b>APARATOS SANITARIOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Bottle trap	UN	138
Floor Drain	UN	346
Sifon de botella	UN	2

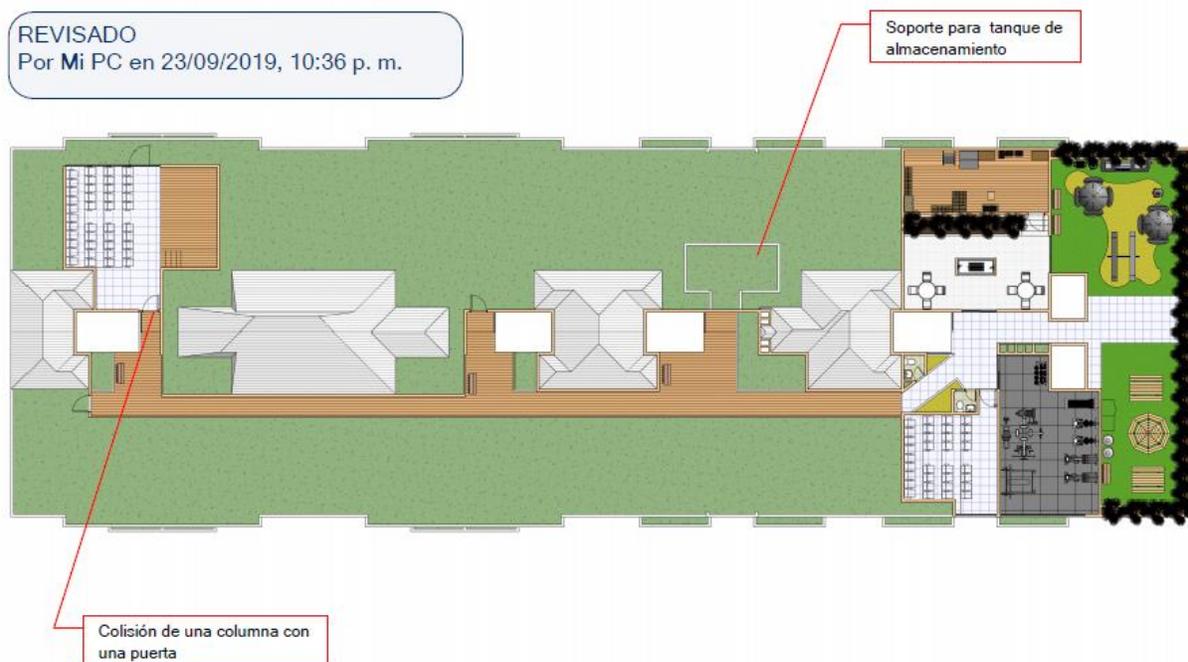
**Nota:** La tabla muestra las cantidades de aparatos sanitarios presentes en el sistema. Fuente: Elaboración propia.

### 3.6 Documentación y Revisión en Design Review

Como se estableció anteriormente, Design Review es una herramienta íntimamente relacionada con la documentación y revisión de planos y modelos exportados desde softwares de dibujo como Revit.

En Revit se pueden elaborar los rótulos para entrega de planos, los cuales se vuelven livianos en Design Review, lo que favorece la revisión de los mismos. Estos archivos de Revit se pueden exportar a Design Review a través del formato DWFX, el mismo que permite la exportación de modelos a Navisworks.

Ya que Design Review es una herramienta gratuita y fácil de usar, cualquiera de los entes de los proyectos puede emplearla.



**Figura 44.** Revisión en Design Review de plano arquitectónico del P07.

Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 4. Análisis de resultados

### 4.1 Cuadro comparativo “tiempo de solución de incongruencias de diseño BIM vs CAD”

**Tabla 55**

*Tiempo total de solución de incongruencias Metodología BIM vs CAD*

<b>INTERFERENCIA</b>	<b>TIEMPO M. CAD (DÍAS)</b>	<b>TIEMPO M. BIM (DÍAS)</b>
No. 1	3	1,75
No. 2	5	0,375
No. 3	0	0,125
No. 4	13	0,25
No. 5	12	1,25
No. 6	4,7	1,125
No. 7	6,25	4,6
No. 8	3	1,5
No. 9	3	1,25
No. 10	5	3
No. 11	4	0,25
<b>TIEMPO TOTAL</b>	<b>58,95</b>	<b>15,475</b>

**Nota.** La tabla muestra los tiempos finales de solución de las interferencias analizadas comparativamente con metodología BIM y CAD para el edificio Puerta de Hierro. Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Cuadro comparativo “presupuesto final BIM vs CAD”

**Tabla 56**

*Presupuesto final de solución de incongruencias Metodología BIM vs CAD*

INTERFERENCIA	COSTO M. TRADICIONAL	COSTO M. BIM
No. 1	\$ 2.013.334,35	\$ 251.214,00
No. 2	\$ 5.366.998,45	\$ 67.026,00
No. 3	\$ 0,00	\$ 24.825,00
No. 4	\$ 85.927.756,20	\$ 338.100,00
No. 5	\$ 2.914.864,66	\$ 189.736,00
No. 6	\$ 1.163.292,62	\$ 194.080,00
No. 7	\$ 800.000,00	\$ 766.400,00
No. 8	\$ 2.999.248,80	\$ 654.400,00
No. 9	\$ 243.682,18	\$ 144.584,00
No. 10	\$ 640.000,00	\$ 1.722.400,00
No. 11	\$ 2.117.721,40	\$ 255.428,00
PRESUPUESTO	\$ 104.186.898,65	\$ 4.608.193,00

**Nota.** La tabla muestra el presupuesto total de solución de las interferencias analizadas comparativamente con metodología BIM y CAD para el edificio Puerta de Hierro. Fuente: Elaboración propia.

## 4.3 Análisis de resultados

BIM es una herramienta que evita riesgos de construcción ya que posibilita la detección de interferencias en etapas tempranas del proyecto, y conlleva una toma de decisiones temprana. La gestión de cambios, al tener lugar en fases tempranas, reduce los costes y tiempos de los mismos reduciendo el riesgo de la inversión. Facilita la comunicación entre todos los intervinientes y al tratarse de un método colaborativo entre todas las partes, se consigue un conocimiento compartido y en continua evolución. Se disminuyen de manera significativa los RFIs (Request for Information). Mejora la comunicación con el cliente, y por consiguiente aumenta la satisfacción de este. (Cárdenas, 2016, pág. 47)

A partir de lo expuesto, se plantea que los errores surgidos en las fases de diseño y planeación de los proyectos son los factores responsables de los sobrecostos y retrasos recurrentes en la ejecución de las obras. Esto se puede soportar con los resultados obtenidos para

el proyecto Puerta de Hierro pues, en el supuesto de que se hubiera ejecutado la construcción del edificio sin evaluarlo bajo metodología BIM, las 1629 interferencias detectadas y pendientes de revisión habrían repercutido en la realización de la obra. Se debe señalar que se evaluaron 11 tipos de interferencias, catalogadas como las más destacadas y estas engloban a su vez una cantidad considerable de interferencias del mismo tipo. Se evidencia la necesidad de desarrollar una planeación adecuada de los proyectos, y de disponer de las herramientas necesarias para prevenir errores, optimizando la gestión de cambios.

Los resultados obtenidos al cruzar cada sistema se resumen así:

**4.3.1 Sistema estructural vs arquitectónico.** Se elaboraron los informes de colisiones con una tolerancia de 5 cm. De la totalidad de interferencias detectadas, 1730, fueron aprobadas 1501. Esto debido a que no representan factor de riesgo para la ejecución de la obra, pues pueden ser previstas una vez completada la etapa estructural. Las 229 colisiones restantes son causadas por ciertos errores de diseño y deberían ser corregidas antes de iniciar la construcción. Debido a que algunas de estas colisiones son del mismo tipo, se agruparon para facilitar el manejo de datos, esta condición se puede ver reflejada en los informes de colisiones anexados. (Ver Apéndice A).

**4.3.2 Sistema estructural vs hidráulico.** Se detectaron 614 interferencias, de las cuales 268 debían ser evaluadas y corregidas en lo posible. Estas fueron agrupadas por similitud como se muestra en los informes de colisiones anexados en el Apéndice B, los cuales se obtuvieron con una tolerancia de 5 cm. Para evaluar las condiciones de corrección se le dio prioridad al sistema estructural sobre las redes.

**4.3.3 Sistema estructural vs sanitario.** De las 1445 interferencias detectadas, 255 se catalogaron como pendientes de revisión. Estas se extrajeron con una tolerancia de 5 cm. Ver los informes de colisiones en el Apéndice C.

**4.3.4 Sistema hidráulico vs sanitario.** Se detectaron 848 colisiones entre las redes hidráulicas y sanitarias, empleando una tolerancia de 1 mm dada la condición de los diámetros de

las tuberías. Estos dos sistemas presentan la mayor cantidad de conflictos de importancia. Posiblemente se deba a una mala planeación de la coordinación vertical y horizontal de las redes y, debido a que estas redes no deben interferir entre si bajo ninguna circunstancia, las 848 colisiones deben revisarse y corregirse. Dada la gran cantidad de interferencias detectadas, y que algunas presentan características similares, estas fueron agrupadas para facilitar la obtención de los informes de colisiones. Ver Apéndice D.

**4.3.5 Sistema hidráulico vs arquitectónico.** 617 colisiones de las 626 fueron aprobadas, no presentan riesgos importantes en obra. Las 9 interferencias pendientes de revisión se agruparon en 4 grupos dadas las similitudes presentadas, como se muestra en el Apéndice E.

**4.3.6 Sistema sanitario vs arquitectónico.** Se presentaron 2461 interferencias, de las cuales 20 se establecieron como pendientes de revisión. Estas colisiones también fueron agrupadas para facilitar la obtención de los informes de colisiones, los cuales se pueden encontrarse en el Apéndice F.

Respecto a los resultados obtenidos en la Tabla 55, referente a los tiempos de solución de las interferencias evaluadas se determinó una diferencia entre las metodologías CAD y BIM de por lo menos 43 días, donde la metodología BIM presentó el mayor ahorro en tiempo de solución para dichas incongruencias.

Con la metodología BIM se obtuvo un estimativo de 15,5 días, que corresponden al tiempo de solución que se requiere para desarrollar la planeación adecuada de las correcciones, y realizarlas en los modelos de Revit, de tal manera que puedan elaborarse los entregables definitivos con información confiable y las planillas de cómputo con las cantidades de obra precisas. Por el contrario, los tiempos de solución con metodología CAD se convierten en retrasos que afectan el cronograma de la obra, ya que la mayoría de estas incongruencias se percibe una vez iniciada la construcción. Los resultados indicarían un retraso en obra de 59 días aproximadamente, cifra que proporcionaría desventajas al proyecto tanto por afectar el cronograma como por el exceso de recursos materiales, de mano de obra y los sobrecostos que estos factores puedan generar.

Ahora bien, analizando la información recopilada en la Tabla 56 sobre los costos de solución de las interferencias con metodología BIM y CAD, se establece que los costos de solución implementando metodología BIM representan un 4,42% del sobre costo total que se generaría con la metodología tradicional. Este ahorro que proporciona BIM en lugar de invertirse para solucionar las colisiones en la ejecución de la obra, podría emplearse para mejorar otros aspectos, así lo establece (Echeverri, 2018) “El dueño del proyecto se puede ahorrar entre un 21 y 25% del valor total, y este dinero se puede utilizar para construir hasta 2 obras más para beneficio propio”, (Donar Palacio Martínez – Director de la Constructora Bim Ryne).

Adicionalmente, (Constructivo, 2018) cita que según Anfapa “se estima que se pueden ajustar las mediciones del proyecto en un 37% y reducir en un 20% los costos de construcción, cifras muy significativas que no pueden obviarse a la hora de valorar la implantación de esta metodología”.

Dentro de los factores que más producen sobrecostos en obra se detallan los elementos que no se pueden fabricar in situ, los cuales deben proveerse desde el mercado de la construcción y que, por su condición de elementos prefabricados tienen costos elevados, como es el caso de las barandas o puertas evidenciadas en las Fichas de Interferencia 2 y 4 (Tablas 7 y 13 respectivamente). Estos elementos además de los altos costos, condicionan que esperar a los proveedores puede ocasionar retrasos que afectan el cronograma de ejecución de la obra.

También se logró establecer que, para el caso de algunas interferencias como la No. 10, la solución empleando metodología BIM podría ser más costosa, esto debido a que se deben cubrir los costos de trabajo de nuevos entes, que son los encargados de coordinar y elaborar los modelos BIM. Sin embargo, a largo plazo BIM se muestra como la alternativa más rentable de solución, pues sería más conveniente invertir un poco más en mano de obra de coordinadores y modeladores BIM que realicen una adecuada planeación y mitiguen los errores de diseño, que invertir en material innecesario, así como costos de mano de obra que generan retrasos debidos a errores en los diseños que pudieron haberse previsto a tiempo. Se debe considerar además que la implementación BIM permitirá hacer seguimiento al edificio en todo su ciclo de vida. Debemos referirnos nuevamente a la curva de Mac Leamy analizada en la página 29, donde se aprecia que

en fases iniciales de planeación y diseño es donde mayores esfuerzos deben disponerse para alcanzar el proceso de diseño ideal, de lo que se establece la ventaja del BIM, de tal forma que en la ejecución y administración de la construcción se generen los menores inconvenientes posibles.

Implementar la metodología BIM no infiere que se vayan a eliminar los errores de diseño, pues siempre va a existir un margen de error. Sin embargo, un gran porcentaje de estos errores pasados por alto se alcanzan a detectar al implementar una herramienta vinculada como Navisworks, en este sentido hacemos referencia a la Interferencia No. 3, generada por un error dado en los modelos de Revit. Aunque este conflicto no se habría presentado con la metodología CAD y demuestra que la metodología BIM no se encuentra exenta de errores, al ser detectada a tiempo se corrigió de manera oportuna.

Los costos de solución BIM detallados para cada interferencia, tienen como principal factor el otorgado a la mano de obra que debe gestionar las revaluaciones y cambios pertinentes una vez detectadas las interferencias. Así mismo, debe considerarse el tiempo invertido en dar solución a estos conflictos, que al ser requerido en fases de diseño no pone en riesgo la realización óptima del edificio.

Con base en los resultados y en la cantidad considerable de conflictos presentados entre las redes hidráulicas y sanitarias, se demuestra que la manipulación de estas redes requiere de tiempo y cuidado especial. De las 1629 interferencias pendientes de revisión, 1400 involucran las redes hidráulicas y sanitarias. Por lo tanto, se evidencia una inadecuada planeación para distribución de las redes por lo que, en obra, el proyectista debería reevaluar todas las condiciones para realizar un rediseño de estos sistemas. Al implementar la metodología BIM se reincide en estos mismos conflictos pues se tomaron como base los mismos planos CAD de la metodología tradicional para elaborar los modelos, sin embargo, corregir estos conflictos sería posible en la propia planeación de los proyectos; el proyectista requeriría unos plazos adicionales para evaluar los diseños y permitir a los modeladores BIM realizar los cambios. Estos plazos son mínimos, pues su corrección depende de las capacidades que el modelador posea.

La coordinación vertical de las redes es la que permite asignar las elevaciones desde nivel requeridas para evitar que dichos sistemas se crucen entre sí o con la estructura de los edificios, sin embargo, con la metodología CAD la planeación para proyectar estas redes representa un proceso complejo, en el cual el proyectista debe tener presente en todo momento los sistemas próximos a dichas redes.

(Saldias, 2010) recopila algunos datos de las reducciones en los programas del proyecto al implementarles metodología BIM:

Según la National BIM Standards (NBIMS, USA) la duración del programa de diseño se puede reducir entre un 10-25% y la duración del programa de Construcción se puede reducir entre un 5-10%. Según la GSA, la integración de datos, modelos 4D y reuniones de coordinación permiten reducir el programa general (diseño y construcción) en un 19%. Según la empresa Archisoft con el uso de estos modelos se puede obtener un ahorro promedio de un 5% del costo total de construcción y ahorro de tiempo de un 10% del programa de construcción. (p. 53)

Se debe resaltar nuevamente que, aunque emplear la metodología BIM para proyectos de construcción no va a evitar que se generen conflictos en la ejecución de las obras, si garantiza la reducción de estos, de manera que se puedan optimizar los tiempos y recursos en problemas que requieran mayor atención.

## Capítulo 5. Conclusiones

Después de analizar la información suministrada por diferentes autores, y al aplicar esta metodología a un caso en particular, fue posible evidenciar que BIM logra la integración estructurada de diversas disciplinas implicadas en la ejecución de los proyectos de construcción. Lo destacable es que BIM permite integrar tantas disciplinas que podría considerarse una metodología de trabajo de difícil aplicación; sin embargo, una vez comprendidos los conceptos básicos para desarrollarla, el proceso se muestra sencillo si se encamina adecuadamente respecto de los objetivos que se desean alcanzar, para de esta manera especificar las aplicaciones que se van a utilizar y el nivel de implementación que se quiere lograr. Además de todo esto, BIM permite reducir las cargas de trabajo que se generan con la metodología tradicional.

Partiendo de las dificultades que conlleva implementar nuevas metodologías a los proyectos de construcción, BIM presenta desventajas relacionadas con la falta de información y el alto costo de su implementación. Mientras en algunos países esta implementación ya es obligatoria, países como Colombia aún no se han dispuesto a trabajarla en su totalidad. (Ocampo, 2014) señala que es la resistencia al cambio la que afecta la implementación de estas nuevas tecnologías. Principalmente debido a que las licitaciones bajo metodología tradicional se encuentran muy arraigadas, y como constata, para proyectos que requieren un único contratista esta metodología puede funcionar. No obstante, BIM es la que proporciona la mejor alternativa para desarrollar licitaciones en las que se abarcan diferentes subcontratistas, y puntos de obras, ya que permite gestionar coordinadamente el trabajo simultáneo y garantiza una gerencia eficaz, en la que además, se mitigan los conflictos de intereses por parte de los implicados, los cuales bajo metodología tradicional son causados frecuentemente por errores en las fases de planeación y diseño, donde, “estos cambios y resoluciones frecuentemente conllevan a disputas legales, añaden costos y retrasos” (Saldias, 2010, pág. 10).

Se puede considerar entonces al BIM, como mecanismo de aplicación para proyectos que exigen una coordinación y comunicación efectiva, principalmente aquellos de gran envergadura,

pues estos usualmente conllevan una cantidad considerable de documentos e información. (Saldias, 2010)

No obstante, implementar BIM también conlleva desventajas pues “ello implica inversión en hardware, en software y en preparación del equipo humano para asumir este reto” (Ocampo, 2014, pág. 21). Y es en esa instancia que la adopción de la metodología BIM empieza a correr riesgos. Actualmente, no se encuentran suficientes personas con conocimiento sobre esta metodología para contribuir a su adopción, sin embargo, cada vez son más los proyectos que se asocian al BIM en el país. En el caso de Ocaña, ya se encuentra una constructora desarrolladora de proyectos BIM, BIM RYME.

Otro de los aspectos negativos que se pudo constatar, recae sobre el costo que genera implementar BIM. Debido a que son pocas las personas con capacidad de implementarla, es comprensible que los costos de trabajo humano sean elevados. Sumado a esto, esta metodología requiere mucha inversión tecnológica, tanto para adquirir equipos potentes como para obtener los softwares con las licencias legales requeridas.

Ahora bien, las ventajas de la implementación BIM son innumerables y se logran evidenciar en todas las etapas de los proyectos, orientadas a alcanzar la mayor eficiencia de las obras antes, durante y después de su ejecución. De aquí se desprende que la alta inversión tecnológica requerida permitirá hacer seguimiento a los edificios durante la ejecución de la obra y en toda su vida útil, proporcionando ventajas a largo plazo, aspecto limitado con la metodología CAD.

La supervisión de las obras es la que garantiza el cumplimiento de los requisitos de los planos y las especificaciones, y como tal es una etapa ligada al control de las obras. (Solís, 2004) lo confirma así: “la supervisión es responsable de que el tiempo de ejecución y la calidad correspondan con los planeados; y es corresponsable –junto con el personal administrativo de la empresa– de ejercer el control de los costos” (p.55).

Por lo tanto, como se apreció con los resultados obtenidos al realizar el análisis de sobrecostos y retrasos para solución de interferencias en el proyecto Puerta de hierro, se destaca que los errores desde la planeación afectarán la supervisión y por ende el seguimiento y control eficiente de las edificaciones, causando pérdidas principalmente en la ejecución de las obras. Una vez resueltos estos inconvenientes, la obra ya debería cumplir con las especificaciones requeridas, sin embargo, no se podrá hacer un seguimiento eficiente durante todo su ciclo de vida empleando metodología CAD. BIM sí garantiza este seguimiento, pues los modelos de trabajo que contienen la información del proyecto, estarán a disposición siempre que se requieran, bien para registrar los avances de obra o para evaluar modificaciones futuras en los edificios.

Lo anterior permitió destacar la relación del BIM con la metodología Lean Construction, la cual se orienta a la construcción sin pérdidas, aspecto clave para garantizar proyectos exitosos. Estas dos metodologías, que individualmente funcionan muy bien, se complementan, pues BIM sirve como mecanismo para alcanzar los objetivos del Lean y viceversa, creando así una sinergia entre ambas metodologías. Esta reducción de pérdidas, proporciona con BIM, la posibilidad de ahorrar en costos y retrasos de cambios en obra. Entonces, BIM representa una eficiencia económica importante pues los recursos que se emplearían para corrección de errores con la metodología tradicional, con BIM podrían utilizarse para optimizar las construcciones, ampliarlas o incluso crear nuevas. Se sustentan los ahorros en costo y tiempo que se obtuvieron al evaluar las interferencias detectadas para el proyecto Puerta de Hierro entre las metodologías CAD y BIM, donde se apreció una reducción destacable de los tiempos de solución de las incongruencias al emplear los modelos de softwares BIM.

La incidencia del BIM al ciclo de vida de los proyectos es factor clave en el éxito de la misma. Antes habría sido complejo hacer seguimiento a un edificio con base a planos en papel, se debían realizar estudios minuciosos para determinar la factibilidad de realizar algún cambio a los edificios sin ponerlos en riesgo. Con BIM esto ya no es un problema, desde los modelos trabajados será posible hacer variaciones al proyecto para determinar su incidencia. (Echeverri, 2018), destaca que “tomar decisiones a edades tempranas con BIM es posible, algo que resulta inexistente en la industria tradicional en la que se viene trabajando hace más de 30 años”.

La interoperabilidad ya mencionada juega un papel clave en BIM, representa la posibilidad de interconectar a todos los entes de los proyectos, así como el permitir la transmisión de archivos que contienen la información de los proyectos, garantizando que esta información siempre esté al alcance de los interesados, lo que genera un ambiente de trabajo colaborativo. (Choclán, Soler, & González, 2014) destacan estos beneficios de la siguiente manera:

Gracias a la interoperabilidad que ofrece BIM se logra alcanzar los objetivos de las empresas. En lo referente al cliente, se logra ahorrar costes y cumplir con los plazos. La empresa constructora consigue un mayor control y consigue una mayor satisfacción del cliente. Por último, en lo que compete a los técnicos, estos ahorran costes y reduce el tiempo en las labores a desempeñar. (p. 10)

Concluyendo, se destaca con BIM la facilidad de mantener la información de los proyectos siempre actualizada y al alcance de todos los implicados, lo que facilita la organización de la información al contar con herramientas informáticas que permiten la interoperabilidad. El flujo de trabajo también depende de la capacidad del BIM Manager para buscar la ruta de trabajo más sencilla, por ejemplo, la elección de un área repetida del edificio como son los apartamentos tipo, que al ser el mismo archivo vinculado a ubicaciones distintas automatiza los procesos de cambio.

Así mismo, ya no será necesario esforzarse por realizar planos entendibles mediante líneas, pues los modelos 3D garantizan la fácil comprensión de los detalles de los elementos, incluso de quienes no los diseñaron. La metodología BIM en su planteamiento más básico mejora la visualización del proyecto. Elaborar los entregables de los proyectos mediante metodología tradicional siempre ha representado dificultad, ya que se deben invertir horas excesivas de trabajo para elaborar los diferentes planos que contendrán la información del proyecto. Como en todo proyecto de ingeniería, surgen cambios a último momento ya sea por un detalle mal planeado o por pedido del dueño a último momento, incluso ya en etapa de construcción. Esta situación genera la actualización manual de muchos documentos relacionados con el proyecto. Por el contrario, con BIM y en base a su filosofía de mantener una base de datos única y enlazada, permite que todos estos entregables se elaboren automáticamente.

Como ya se mencionó, BIM también garantiza facilidad de corrección de errores, entre los que se destacan las colisiones entre sistemas; en lugar de modificar cada plano por individual, los cambios se pueden ajustar en un solo modelo y esto se actualizará en todas las vistas. También la elaboración de planos se simplifica porque se pueden obtener secciones de cualquier ubicación en el edificio.

Simplificando, con la metodología tradicional CAD todos estos aspectos deben realizarse por independiente y llevan una secuencia de desarrollo en la que unos procesos no se pueden llevar a cabo a la par con otros. Caso contrario, BIM integra todas estas funciones bajo un mismo modelo de información, en las que incluso, se pueden obtener las cantidades de obra automáticamente, las cuales se pueden enlazar con software externo como Excel o cualquier otro software para presupuesto y cronograma.

Se puede concluir entonces que BIM es la evolución del CAD, donde no intenta socavar a esta, sino que la integra, optimizando sus funciones siempre con la finalidad de hacer más eficientes los procesos partiendo desde una minuciosa planeación para facilitar el seguimiento y control de la construcción, por lo cual está en constante evolución. Como se comprobó en la presente monografía, se corrigen las interferencias antes de la etapa de construcción generando una disminución significativa en el presupuesto y en el cronograma.

## Capítulo 6. Recomendaciones

Partiendo del desconocimiento de este software en la región se hace imprescindible capacitar a estudiantes y profesionales, a través entidades universitarias o empresas privadas, destacando que BIM es el futuro de las tecnologías de la construcción. Así mismo, las universidades deberían incluir dentro del pñsum académico, asignaturas que instruyan el uso de softwares que van de la mano con esta metodología.

Se recalca, además, que para desarrollar proyectos BIM es necesario realizar un estudio íntegro de lo que se desea conseguir, pues dada la gran cantidad de información se pueden generar confusiones y se debe contar con una estrategia clara para idear un flujo de trabajo óptimo y colaborativo.

En aspectos más técnicos del uso del software, una recomendación es que para poder modelar en Revit se deben conocer los procesos constructivos, pues se modela como se construye. Además, dada la variedad de roles que se pueden desempeñar con BIM, se debe ajustar el talento humano con las áreas afines.

En cuanto a las familias que se requieren para modelar los edificios, sería útil contar con una base de datos de los proveedores, y que esta a su vez incluya los costos, siguiendo el ejemplo de PAVCO, que cuenta con un catálogo amplio de todas las tuberías y accesorios.

Finalmente, se recomienda mostrar una disposición a introducir las nuevas tecnologías que surgen en el mercado, y que pueden conducir a mejorar la propia metodología, que en sí misma, tiene como filosofía la mejora continua.

## Referencias

- Aguilar, J. (20 de Junio de 2018). *Cómo crear una simulación 4D con Revit y Project desde Navisworks*. Recuperado de <https://www.msistudio.com/como-crear-una-simulacion-4d-con-revit-y-project-desde-navisworks/>
- Alcántara, P. V. (2013). Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM (trabajo de grado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.
- Alonso, C. (22 de Mayo de 2018). *Tecnología BIM. Conceptos básicos*. [Entrada de blog]. Recuperado de <http://blog.instop.es/bim-conceptos-basicos>
- Antunez, J. (2014). *Level of Development (IV y final)*. Recuperado de <https://comarqpanama.wordpress.com/2014/06/05/level-of-development-iv-y-final/>
- Arrieta, E. (2016). Manual Avanzado Autodesk Revit ® Architecture. Pamplona, España.
- Autodesk. (2014). *Acerca del uso de Design Review para revisar archivos*. Recuperado de <https://knowledge.autodesk.com/es/support/autocad/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ESP/AutoCAD-Core/files/GUID-163F6A4A-316D-4AF3-8C7D-F64EE0606A36-htm.html>
- Autodesk. (2016). *Ficha Resultados*. Recuperado de <https://knowledge.autodesk.com/es/support/navisworks-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ESP/Navisworks-Manage/files/GUID-FCC9E5E1-2717-48D2-8DBE-2055CF2DC61E-htm.html>
- Autodesk. (2019). *Productos Revit*. Recuperado de <https://knowledge.autodesk.com/es/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ESP/Revit-DocumentPresent/files/GUID-F50D6FF4-859E-43A2-A2F6-81C84A1BA0EB-htm.html>
- Autodesk. (s.f.). *Características. Software de modelado de información de edificios*. Recuperado de <https://latinoamerica.autodesk.com/products/revit/features>
- Autodesk. (s.f.). *What is BIM?* Recuperado de <https://www.autodesk.com/solutions/bim>
- Baldasano, J. M., Gassó, S., & Colina, F. (2001). Diseño asistido por ordenador (CAD). Evolución y perspectivas de futuro en los proyectos de ingeniería. Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Universidad de Barcelona (UB). Barcelona.
- Bew, M., & Richards, M. (2008). Bew-Richards BIm Maturity Model.
- BibLus. (2017). *IFC ¿Qué es, a qué sirve y cuál es su relación con el BIM?* Recuperado de <http://biblus.accasoftware.com/es/ifc-que-es-y-relacion-con-el-bim/>

- BibLus. (2019). *Drones para construcción: los drones como soporte de procesos BIM*. Recuperado de <http://biblus.accasoftware.com/es/drones-para-construccion-los-drones-como-soporte-de-los-procesos-bim/>
- BibLus. (2019). *Plataforma de colaboración: el BIM y la importancia de la plataforma*. Recuperado de <http://biblus.accasoftware.com/es/plataforma-de-colaboracion-el-bim-y-la-importancia-de-la-plataforma/>
- BibLus. (2019). *Realidad virtual BIM: cómo está cambiando el mundo de la construcción*. Recuperado de <http://biblus.accasoftware.com/es/realidad-virtual-bim-como-esta-cambiando-el-mundo-de-la-construccion/>
- BIM RYME. (s.f.). *Metodología de trabajo BIM*. Recuperado de <https://www.bimryme.com.co/#nuestroequipo>
- BIMMEX. (4 de Agosto de 2019). *BIM México: Usos y beneficios a nivel nacional*. Recuperado de <https://bimmex.com.mx/blog/metodologiabim/bim-mexico>
- Blanco, M. (2018). Cambiando el chip en la construcción, dejando la metodología tradicional de diseño CAD para aventurarse a lo moderno de la metodología BIM (trabajo de grado). Universidad Católica de Colombia. Bogotá, D.C.
- buildingSMART. (s.f.). *¿Qué es BIM?* Recuperado de <https://www.buildingsmart.es/bim/>
- CADEOSYS. (2017). *Attachment: LOD*. Recuperado de <https://www.cadeosys.com/services/model-with-different-lod/lod-3/>
- Cárdenas, M. (2016). Incorporación de Metodología BIM en la Gestión Integrada de Proyectos (trabajo fin de máster). Universidad Europea. Madrid.
- Cerón, I. A., & Liévano, D. A. (2017). Plan de implementación de metodología BIM en el ciclo de vida en un proyecto (trabajo de grado). Universidad Católica de Colombia. Bogotá, D.C.
- Chaur, J. (2004). Diseño conceptual de productos asistido por ordenador: Un estudio analítico sobre aplicaciones y definición de la estructura básica de un nuevo programa (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
- Choclán, F., Soler, M., & González, R. J. (2014). Introducción a la metodología BIM. *Spanish journal of BIM*, No. 14/01, 4-10. Recuperado de [https://www.academia.edu/39638513/Spanish\\_journal\\_of\\_BIM](https://www.academia.edu/39638513/Spanish_journal_of_BIM)
- Choclán, F., Barco, D., Sánchez, H., Fuentes, B., Collado, C., López, A., ... García, A. (2017). Roles en procesos BIM. Recuperado de [https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2017/06/GT2\\_Personas-SG2\\_3\\_Roles-ilovepdf-compressed.pdf](https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2017/06/GT2_Personas-SG2_3_Roles-ilovepdf-compressed.pdf)
- Coloma, E. (2008). Introducción a la tecnología BIM. Recuperado de <http://www.practicaintegrada.com/storage/tecnologiabim/Introducción a la Tecnología BIM.pdf>

- Constructivo. (2018). ¿Cómo avanza la implantación del BIM en el mundo? *Constructivo*. Recuperado de <https://constructivo.com/noticia/como-avanza-la-implantacion-del-bim-en-el-mundo-1520291050>
- Costa, G., Jardí, A., & Valderrama, J. (2015). Mejoras para la automatización de procesos en la importación de modelos en IFC. *Spanish journal of BIM*, No. 15/02, 10-18. Recuperado de <https://www.buildingsmart.es/journal-sjbim/historial/>
- D'amato, N. (2010). Building Information Modeling (BIM) (trabajo de grado). Universidad EAFIT. Medellín.
- Echeverri, D. C. (2018). BIM RYME: La transformación de la construcción en Colombia. *Revista Primer Nombre*. Recuperado de <https://primernombre.com/2018/09/19/bim-ryme-la-transformacion-de-la-construccion-en-colombia/>
- EcuRed. (2013). *Autodesk Revit*. Recuperado de [https://www.ecured.cu/Autodesk\\_Revit](https://www.ecured.cu/Autodesk_Revit)
- Editeca. (2019). *El BIM en Latinoamérica*. Recuperado de [www.editeca.com/bim-en-latinoamerica/](http://www.editeca.com/bim-en-latinoamerica/)
- Esarte, A. (2019). *Nivel de detalle de un proyecto BIM*. Recuperado de <https://www.espaciobim.com/nivel-detalle-proyecto-bim/>
- ESDIMA. (s.f.). *¿Qué es Navisworks y para qué sirve esta herramienta?* Recuperado de <https://esdima.com/que-es-navisworks-y-para-que-sirve-esta-herramienta/>
- ESDIMA. (s.f.). *Origen del programa Revit de Autodesk*. Recuperado de <https://xn--master-diseo-khb.com/origen-del-programa-revit-de-autodesk/>
- EUBIM Taskgroup. (2017). European Leadership in BIM. Recuperado de [https://www.ace-cae.eu/fileadmin/New\\_Upload/1.\\_ACE\\_Meetings/General\\_Assembly/Special\\_Sessions/2017\\_-\\_BIM\\_IN\\_EUROPE/4.\\_Matthew\\_EU\\_BIM\\_Task\\_Group\\_ACE\\_Dec\\_2017\\_--Matthews\\_v1.pdf](https://www.ace-cae.eu/fileadmin/New_Upload/1._ACE_Meetings/General_Assembly/Special_Sessions/2017_-_BIM_IN_EUROPE/4._Matthew_EU_BIM_Task_Group_ACE_Dec_2017_--Matthews_v1.pdf)
- EUBIM TASKGROUP. (2017). Manual para la introducción de la metodología BIM por parte del sector público europeo. Recuperado de <http://www.eubim.eu/wp-content/uploads/2018/02/GROW-2017-01356-00-00-ES-TRA-00.pdf>
- Franco, J. T. (2018). ¿Qué es BIM y por qué parece ser fundamental en el diseño arquitectónico actual? *ArchDaily*. Recuperado de <https://www.archdaily.co/co/887546/que-es-bim-y-por-que-es-fundamental-en-el-diseno-arquitectonico-actual>
- García, J. M. (2017). Metodología BIM en la realización de proyectos de construcción. Estudio de 6 viviendas adosadas en Gilet (trabajo de grado). Universitat Politècnica de València. Valencia.
- Gómez, J. M. (2016). Análisis comparativo entre metodologías de presupuestación tradicional racional y con herramientas tecnológicas Revit (BIM) (trabajo de grado). Universidad Católica de Colombia. Bogotá, D.C. .

- González, C. (2015). *Building Information Modeling: Metodología, aplicaciones y ventajas. Casos prácticos en gestión de proyectos (trabajo fin de máster)*. Universitat Politècnica de València. Valencia.
- Grupo Soma. (2019). Servicios de implementación BIM. *The soma group*. Recuperado de <https://www.thesomagroup.com/bim>
- IAC. (s.f.). *Autodesk Navisworks*. Recuperado de <https://www.iac.com.co/navisworks/>
- KAIZEN. (s.f.). *¿Qué es el BIM? Building Information Modeling*. Recuperado de <https://www.kaizenai.com/bim/que-es-el-bim/>
- Kymmell, W. (2008). *Building Information Modeling: Planning and Managing Projects with 4D CAD and Simulations (McGraw-Hill Construction Series)*. USA: McGraw-Hill Education.
- Leon, I., Sagarna, M., Mora, F., Marieta, C., & Otaduy, J. (2016). El empleo de la tecnología BIM en la docencia vinculada a la Arquitectura. Aprendizaje cooperativo y colaborativo basado en Proyectos reales entre diferentes asignaturas. *JIDA'16 IV Jornadas sobre innovación docente en Arquitectura*, 191-197. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/98260>
- Lozano, S., Patiño, I., Gómez, A., & Torres, A. (2018). Identificación de factores que generan diferencias de tiempo y costos en proyectos de construcción en Colombia. *Revista Ingeniería y Ciencia Vol. 14, No. 27*, 117-251. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v14n27/1794-9165-ince-14-27-00117.pdf>
- Madrid, J. A. (2015). Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España. *Spanish Journal of BIM n° 15/01*, 40-56. Recuperado de <https://www.buildingsmart.es/journal-sjbim/historial/>
- Martin, N., Gonzalez, P., & Roldan, M. (2014). Building Information Modeling (BIM): Una oportunidad para transformar la industria de la construcción. *Spanish journal of BIM, No. 14/01*, 12-18. Recuperado de [https://www.academia.edu/39638513/Spanish\\_journal\\_of\\_BIM](https://www.academia.edu/39638513/Spanish_journal_of_BIM)
- Martínez, G. (2017). La utilización del programa Revit como recurso educativo para la mejora del aprendizaje de las instalaciones en viviendas en Tecnología de 4°ESO (trabajo fin de máster). Universidad Internacional de La Rioja. Bilbao.
- Mojica, A., & Valencia, D. F. (2012). Implementación de las metodologías BIM como herramienta para la planificación y control del proceso constructivo de una edificación en Bogotá (trabajo de grado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.
- Monfort, C. (2014). Impacto del BIM en la Gestión del Proyecto y la obra de arquitectura (trabajo de grado). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
- Montagud, A. (2018). Metodología BIM para Proyectos de Ingeniería Civil (trabajo de grado). Universitat Politècnica de València. Valencia.

- Montilla, A. (2017). ¿Qué es el BIM? Diferencias entre BIM y CAD. *Revista digital INESEM*. Recuperado de <https://revistadigital.inesem.es/disenio-y-artes-graficas/diferencias-bim-cad/>
- Moral, S. (2018). Estudio y Modelado con Tecnología BIM de una vivienda Unifamiliar Aislada (trabajo de grado). Universitat Politècnica de València. Escola Tècnica Superior Enginyeria D'edificacio. Valencia.
- Morales, F. (2017). BIM6D - La sexta dimensión del BIM: BIM aplicado a la eficiencia energética. *Revista Obras Urbanas NO. 62*, 26-31. Recuperado de <https://www.obrasurbanas.es/bim6d-sexta-dimension-bim-eficiencia/>
- NATSPEC BIM. (s.f.). *BIM Guides by others*. Recuperado de <https://bim.natspec.org/resources/bim-guides-by-others>
- Ocampo, J. G. (2014). La gerencia BIM como sistema de gestión para proyectos de construcción. En R, Llamosa Villalba (Ed.). *Revista Gerencia Tecnológica Informática*, 14 (38), 17-29. ISSN 1657-8236.
- Olatunji, O. A. (2011). A preliminary review on the legal implications of BIM and model ownership. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, Vol (16), 687-696. Recuperado de <http://www.itcon.org/2011/40>
- Osca, C. (2016). Incidencia del BIM en el proceso proyecto-construcción de arquitectura: una vivienda con Revit (trabajo de grado). Universitat Politècnica de València. Valencia.
- Pérez, L. A. (2019). Posibilidades de la metodología BIM en la Ingeniería Civil (trabajo fin de máster). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- Piruat, F. (2016). Integración del Building Information Modeling (BIM) con la práctica del Facility Management (FM). Mejora de procesos de toma de decisiones en mantenimiento (trabajo fin de máster). Universidad de Sevilla. Sevilla.
- PracticalBIM. (2013). *What is this thing called LOD*. Recuperado de <http://practicalbim.blogspot.com/2013/03/what-is-this-thing-called-lod.html>
- Protoforma. (s.f.). *¿Qué es BIM?* Recuperado de <https://www.archdaily.mx/catalog/mx/products/10342/que-es-bim-protoforma>
- Race, S. (2013). *BIM Demystified*. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=2aelDwAAQBAJ&pg=PT16&lpg=PT16&dq=Building+information+modeling+is+the+use+of+multifaceted+software+to+not+only+document+and+develop+the+design+of+a+building,+but+simulates+the+construction+and+operation+of+the+building>
- Ramírez, J. A. (2018). Comparación entre metodologías Building Information Modeling (BIM) y metodologías tradicionales en el cálculo de cantidades de obra y elaboración de presupuestos (trabajo de grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, D.C.

- Real, M. L. (2018). Cómo evitar problemas en los modelos de coordinación con Navisworks®. *Ingenieros & Arquitectos*. Recuperado de <https://www.e-zigurat.com/blog/es/navisworks-modelos-coordinacion/>
- Restrepo, V. P. (2009). Aplicación y comparación de la metodología de diseño Top Down y Bottom Up (trabajo de grado). Universidad EAFIT. Medellín.
- Reyes, R. (27 de Febrero de 2017). *¿Ya conoces la 7D de BIM?* Recuperado de <https://www.teamnet.com.mx/blog/bim-7d>
- Roa, R. A. (2014). El diseño paramétrico aplicado a las soluciones y detalles constructivos. Universidad de Granada. Granada.
- Salazar, M. F. (2017). Impacto económico del uso de BIM en el desarrollo de los proyectos de construcción en la ciudad de Manizales (trabajo fin de máster). Universidad Nacional de Colombia. Manizales.
- Saldías, R. O. (2010). Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM (trabajo de grado). Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- Sánchez, A. (2016). *BIM + Realidad Virtual + Realidad Aumentada*. Recuperado de <https://www.espaciobim.com/bim-realidad-virtual-aumentada/>
- Sánchez, T., Emilio, D., & Botero, L. F. (2015). Building Information Modeling como nueva tecnología en la enseñanza de la ingeniería civil, la arquitectura y la construcción. *Arquetipo, volumen (10)*, 87-110. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/324716189\\_Building\\_Information\\_Modeling\\_como\\_nueva\\_tecnologia\\_en\\_la\\_ensenanza\\_de\\_la\\_ingenieria\\_civil\\_la\\_arquitectura\\_y\\_la\\_construccion](https://www.researchgate.net/publication/324716189_Building_Information_Modeling_como_nueva_tecnologia_en_la_ensenanza_de_la_ingenieria_civil_la_arquitectura_y_la_construccion)
- Sanz, M. J. (2017). BIM en el mundo. Implantación de la nueva metodología en el sector de la arquitectura. *Arquitectura y empresa*. Recuperado de <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/bim-en-el-mundo-implantacion-de-la-nueva-metodologia-en-el-sector-de-la-arquitectura>
- SEED. (2016). *¿Qué es Navisworks?* SEED. Recuperado de <http://www.studioseed.net/blog/software-blog/que-es-navisworks/>
- Seys. (s.f.). *Infografía: ¿Qué es BIM y cuál es la historia de Building Information Modelling?* Recuperado de <https://seystic.com/bim-la-historia-del-building-information-modelling/>
- Sierra, D. X., Alvarez, J. P., & Henao, G. A. (2015). Aplicabilidad de la metodología BIM para la construcción integral de la arquitectura en tiempo real (trabajo de grado). Universidad de La Salle. Bogotá.
- Solís, R. (2004). La supervisión de obra. *Ingeniería Revista Académica* 8 (1), 55-60. Recuperado de [https://www.academia.edu/10681572/Sol%C3%ADs\\_Ingenier%C3%ADa\\_8-1\\_2004\\_55-60\\_La\\_supervisi%C3%B3n\\_de\\_obra](https://www.academia.edu/10681572/Sol%C3%ADs_Ingenier%C3%ADa_8-1_2004_55-60_La_supervisi%C3%B3n_de_obra)

Walsh, P. (2016). BIM to the future... *Systech International*. Recuperado de <https://www.systech-int.com/wp-content/uploads/2016/03/BIM-to-the-future-Paschal-Walsh.pdf>

## **Apéndices**

## Apéndice A. Informe de colisiones entre el sistema estructural y el arquitectónico.

Fuente: Elaboración propia.

19/9/2019

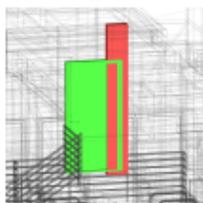
Informe de conflictos

# Informe de conflictos

## Report Lote

### EST VS ARQ Conflicto

Tolerancia	0.050m
Total	1513
Nuevo	0
Activo	0
Revisado	12
Aprobado	1501
Resuelto	0
Tipo	Estático
Estado	Antiguo



Elemento 1\*

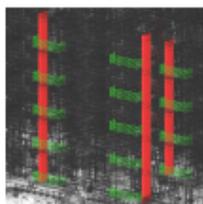
Nombre	ConflictoTipo1
Distancia*	-0.094m
Estado*	Revisado
Punto de conflicto*	-10.551m, 19.527m, 232.030m

Elemento Nombre*	SubPart 1
Elemento Tipo*	Funda

#### Elemento 2\*

GUID	b18a2f4a-ccd5-4db8-9c4c-4a3bcfcc9f3e
Elemento Nombre*	Swedoor_JW_exterior_door_Storage_Ganges_single_outswing_1.0 [451019]
Elemento Tipo*	Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.



Nombre	ConflictoTipo2
Distancia*	-0.111m
Estado*	Revisado
Punto de conflicto*	35.931m, 7.661m, 214.823m

19/9/2019

Informe de conflictos

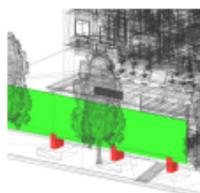
**Elemento 1\***

Elemento Nombre\* SubPart 1  
 Elemento Tipo\* Funda

**Elemento 2\***

GUID d1164484-1c9a-4858-a596-417781ded17f  
 Elemento Nombre\* Barandilla [322684]  
 Elemento Tipo\* Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.



Nombre ConflictoTipo3  
 Distancia\* -0.242m  
 Estado\* Revisado  
 Punto de conflicto\* -12.826m, -2.348m, 210.810m

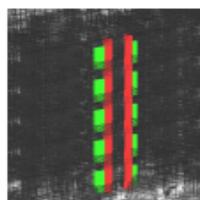
**Elemento 1\***

Elemento Nombre\* SubPart 1  
 Elemento Tipo\* Funda

**Elemento 2\***

GUID efcc3f5c-d50c-4117-8242-8f1d5baf8b1f  
 Elemento Nombre\* Muro básico [868002]  
 Elemento Tipo\* Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.



Nombre ConflictoTipo4D  
 Distancia\* -0.080m  
 Estado\* Revisado  
 Punto de conflicto\* 21.569m, 8.483m, 216.690m

**Elemento 1\***

Elemento Nombre\* SubPart 1  
 Elemento Tipo\* Funda

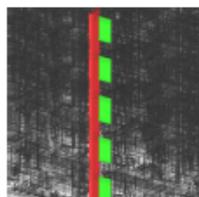
**Elemento 2\***

19/9/2019

Informe de conflictos

GUID	d0dc3bc6-ec51-4704-a0e1-55de0d1a44ba
Elemento Nombre*	Double-Uneven [286755]
Elemento Tipo*	Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.



Nombre	ConflictoTipo4W
Distancia*	-0.090m
Estado*	Revisado
Punto de conflicto*	36.072m, 8.486m, 218.382m

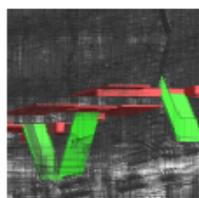
**Elemento 1\***

Elemento Nombre*	SubPart 1
Elemento Tipo*	Funda

**Elemento 2\***

GUID	a8754597-a684-4eee-bcc1-fd387af9ffc5
Elemento Nombre*	Sprossen Variabel [329578]
Elemento Tipo*	Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.



Nombre	ConflictoTipo5
Distancia*	-0.099m
Estado*	Revisado
Punto de conflicto*	-10.986m, 18.320m, 214.480m

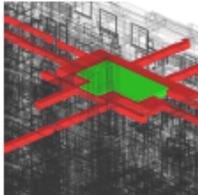
**Elemento 1\***

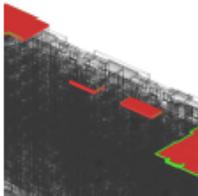
GUID	870db8b4-fe9c-45bc-8b79-ed81ce598916
Elemento Nombre*	Losa de cimentación [249565]
Elemento Tipo*	Funda

**Elemento 2\***

GUID	efcc3f5c-d50c-4117-8242-8f1d5baff3a9
Elemento Nombre*	Barandilla [869908]
Elemento Tipo*	Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.

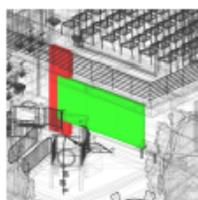
	Nombre	ConflictoTipo12
	Distancia*	-0.222m
	Estado*	Revisado
	Punto de conflicto*	23.481m, 20.543m, 229.714m
<b>Elemento 1*</b>		
Elemento Nombre*	SubPart 1	
Elemento Tipo*	Funda	
<b>Elemento 2*</b>		
GUID	a3e12072-72a7-49e3-9eeb-0e116f497b46	
Elemento Nombre*	Suelo [424509]	
Elemento Tipo*	Funda	
En los campos de grupo marcados con un asterisco (*), se muestra el valor más significativo del grupo.		

	Nombre	ConflictoTipo13
	Distancia*	-0.130m
	Estado*	Revisado
	Punto de conflicto*	-10.248m, 21.961m, 232.950m
<b>Elemento 1*</b>		
Elemento Nombre*	SubPart 1	
Elemento Tipo*	Funda	
<b>Elemento 2*</b>		
GUID	00abe247-6282-4884-b0c0-e055d66a14f0	
Elemento Nombre*	Suelo [211519]	
Elemento Tipo*	Funda	
En los campos de grupo marcados con un asterisco (*), se muestra el valor más significativo del grupo.		

Nombre	Conflicto659
Distancia	-0.125m
Descripción	Estático
Estado	Revisado

19/9/2019

Informe de conflictos



Punto de conflicto  
Fecha de creación

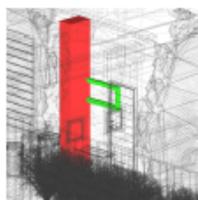
44.572m, 7.823m, 211.437m  
2019/8/28 15:26

**Elemento 1**

Elemento Nombre SubPart 1  
Elemento Tipo Funda

**Elemento 2**

GUID efcc3f5c-d50c-4117-8242-8f1d5baffc30  
Elemento Nombre w3 [870797]  
Elemento Tipo Funda



Nombre  
Distancia  
Descripción  
Estado  
Punto de conflicto  
Fecha de creación

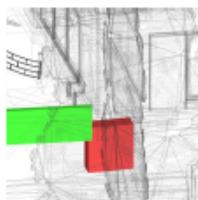
Conflicto663  
-0.124m  
Estático  
Revisado  
-1.034m, 2.373m, 213.038m  
2019/8/28 15:26

**Elemento 1**

Elemento Nombre SubPart 1  
Elemento Tipo Funda

**Elemento 2**

GUID efcc3f5c-d50c-4117-8242-8f1d5baf8abe  
Elemento Nombre Building-Materials\_Glass-and-Glazing\_A-09\_Th-Insul-Window-IGU-iplus [868099]  
Elemento Tipo Funda



Nombre  
Distancia  
Descripción  
Estado  
Punto de conflicto  
Fecha de creación

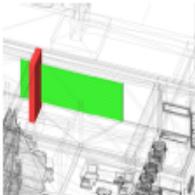
Conflicto905  
-0.099m  
Estático  
Revisado  
49.677m, 7.559m, 210.810m  
2019/8/28 15:26

**Elemento 1**

Elemento Nombre SubPart 1

19/9/2019

Informe de conflictos

Elemento Tipo	Funda
<b>Elemento 2</b>	
GUID	efcc3f5c-d50c-4117-8242-8f1d5baffc2e
Elemento Nombre	Muro básico [870803]
Elemento Tipo	Funda
	
Nombre	Conflicto948
Distancia	-0.095m
Descripción	Estático
Estado	Revisado
Punto de conflicto	-6.828m, 2.403m, 211.390m
Fecha de creación	2019/8/28 15:26
<b>Elemento 1</b>	
Elemento Nombre	SubPart 1
Elemento Tipo	Funda
<b>Elemento 2</b>	
GUID	efcc3f5c-d50c-4117-8242-8f1d5baff2d8
Elemento Nombre	17 Parametric_garage_door_ [870245]
Elemento Tipo	Funda

## Apéndice B. Informe de colisiones entre el sistema estructural y el hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.

19/9/2019

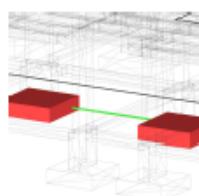
Informe de conflictos

# Informe de conflictos

## Report Lote

### EST VS HID Conflicto

Tolerancia	0.050m
Total	350
Nuevo	0
Activo	0
Revisado	4
Aprobado	346
Resuelto	0
Tipo	Estático
Estado	Antiguo



Nombre	ConflictoTipo6
Distancia*	-0.138m
Estado*	Revisado
Punto de conflicto*	15.000m, 15.539m, 209.240m

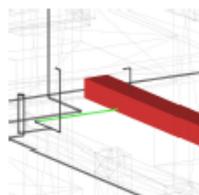
#### Elemento 1\*

Elemento Nombre*	SubPart 1
Elemento Tipo*	Funda

#### Elemento 2\*

GUID	96dfc5b2-bf18-4b7f-8fd6-778536693df9
Elemento Nombre*	Tipos de tubería [223264]
Elemento Tipo*	Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.



Nombre	ConflictoTipo7
Distancia*	-0.107m
Estado*	Revisado
Punto de conflicto*	24.924m, 17.253m, 226.778m

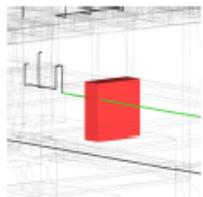
#### Elemento 1\*

19/9/2019

Informe de conflictos

Elemento Nombre*	SubPart 1
Elemento Tipo*	Funda
<b>Elemento 2*</b>	
GUID	c282df56-d3fb-4fe7-aab7-79918536d1d4
Elemento Nombre*	Tipos de tubería [205332]
Elemento Tipo*	Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.

	Nombre	ConflictoTipo12
	Distancia*	-0.094m
	Estado*	Revisado
	Punto de conflicto*	38.324m, 28.104m, 210.450m

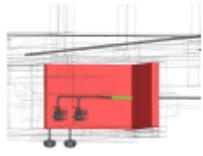
**Elemento 1\***

Elemento Nombre*	SubPart 1
Elemento Tipo*	Funda

**Elemento 2\***

GUID	96dfc5b2-bf18-4b7f-8fd6-77853669329e
Elemento Nombre*	Tipos de tubería [223047]
Elemento Tipo*	Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.

	Nombre	ConflictoTipo13
	Distancia*	-0.072m
	Estado*	Revisado
	Punto de conflicto*	6.453m, 15.756m, 208.732m

**Elemento 1\***

GUID	0131c514-0ccb-4760-8323-f186f80af4a4
Elemento Nombre*	Muro básico [219163]
Elemento Tipo*	Funda

**Elemento 2\***

19/9/2019

Informe de conflictos

GUID	96dfc5b2-bf18-4b7f-8fd6-778536693090
Elemento Nombre*	Tipos de tubería [222537]
Elemento Tipo*	Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.

## Apéndice C. Informe de colisiones entre el sistema estructural y el sanitario.

Fuente: Elaboración propia.

19/9/2019

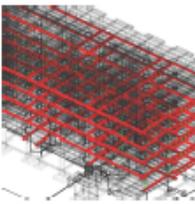
Informe de conflictos

# Informe de conflictos

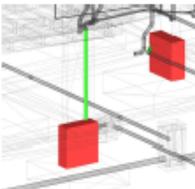
## Report Lote

EST VS SAN Conflicto	
Tolerancia	0.050m
Total	1192
Nuevo	0
Activo	0
Revisado	2
Aprobado	1190
Resuelto	0
Tipo	Estático
Estado	Antiguo

	Nombre	ConflictoTipo12
	Distancia*	-0.137m
	Estado*	Revisado
	Punto de conflicto*	49.492m, 8.752m, 214.400m
<b>Elemento 1*</b>		
Elemento Nombre*	SubPart 1	
Elemento Tipo*	Funda	
<b>Elemento 2*</b>		
GUID	82ab667a-1180-48fc-a0f5-f19cff9e221c	
Elemento Nombre*	Tipos de tubería [220855]	
Elemento Tipo*	Funda	
<p>En los campos de grupo marcados con un asterisco (*), se muestra el valor más significativo del grupo.</p>		

	Nombre	ConflictoTipo13
	Distancia*	-0.082m
	Estado*	Revisado
	Punto de conflicto*	49.454m, 15.026m, 210.810m
<b>Elemento 1*</b>		

19/9/2019

Informe de conflictos

Elemento Nombre*	SubPart 1
Elemento Tipo*	Funda
<b>Elemento 2*</b>	
GUID	5215966a-c11b-4d37-9078-947b90715929
Elemento Nombre*	Tipos de tubería [206010]
Elemento Tipo*	Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.

## Apéndice D. Informe de colisiones entre el sistema hidráulico y el arquitectónico.

Fuente: Elaboración propia.

19/9/2019

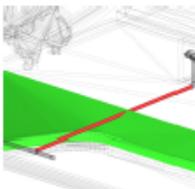
Informe de conflictos

# Informe de conflictos

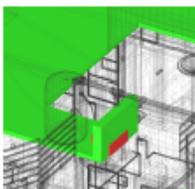
## Report Lote

HID VS ARQ Conflicto	
Tolerancia	0.050m
Total	621
Nuevo	0
Activo	0
Revisado	4
Aprobado	617
Resuelto	0
Tipo	Estático
Estado	Antiguo

	Nombre	ConflictoTipo11
	Distancia*	-0.141m
	Estado*	Revisado
	Punto de conflicto*	5.922m, -6.156m, 210.421m
<b>Elemento 1*</b>		
GUID	23be147c-f1d3-4c43-a58b-8d606405e651	
Elemento Nombre*	Tipos de tubería [226229]	
Elemento Tipo*	Funda	
<b>Elemento 2*</b>		
GUID	efcc3f5c-d50c-4117-8242-8f1d5baff457	
Elemento Nombre*	Suelo [868842]	
Elemento Tipo*	Funda	
<p>En los campos de grupo marcados con un asterisco (*), se muestra el valor más significativo del grupo.</p>		

	Nombre	ConflictoTipo12
	Distancia*	-0.136m
	Estado*	Revisado
	Punto de conflicto*	21.731m, 19.900m, 230.180m

19/9/2019

Informe de conflictos

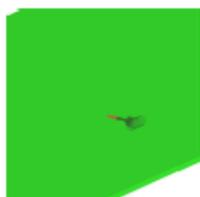
**Elemento 1\***

GUID c282df56-d3fb-4fe7-aab7-79918536ec57  
 Elemento Nombre\* Suelo [204695]  
 Elemento Tipo\* Funda

**Elemento 2\***

GUID 07e50dbe-d59b-4cf1-bbf4-12b1a0d56c14  
 Elemento Nombre\* Muro básico [215574]  
 Elemento Tipo\* Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.



Nombre ConflictoTpo13  
 Distancia\* -0.086m  
 Estado\* Revisado  
 Punto de conflicto\* 61.084m, 28.112m, 210.463m

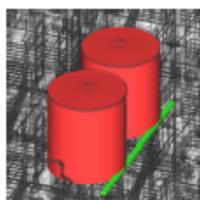
**Elemento 1\***

GUID 96dfc5b2-bf18-4b7f-8fd6-778536693290  
 Elemento Nombre\* Tipos de tubería [223049]  
 Elemento Tipo\* Funda

**Elemento 2\***

GUID efcc3f5c-d50c-4117-8242-8f1d5baff10b  
 Elemento Nombre\* Suelo [869558]  
 Elemento Tipo\* Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.



Nombre ConflictoTpo14  
 Distancia\* -0.064m  
 Estado\* Revisado  
 Punto de conflicto\* 21.386m, 23.467m, 230.080m

**Elemento 1\***

GUID c282df56-d3fb-4fe7-aab7-79918536ec54  
 Elemento Nombre\* TANQUE ELEVADO [204692]

19/9/2019

Informe de conflictos

Elemento Tipo*	Funda
Elemento 2*	
GUID	4e5fad2e-9809-484d-8140-e7fdb0f683d
Elemento Nombre*	Muro básico [226190]
Elemento Tipo*	Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.

## Apéndice E. Informe de colisiones entre el sistema hidráulico y el sanitario.

Fuente: Elaboración propia.

19/9/2019

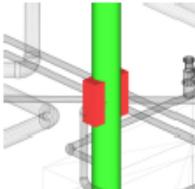
Informe de conflictos

# Informe de conflictos

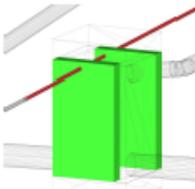
## Report Lote

HID VS SAN Conflicto	
Tolerancia	0.001m
Total	5
Nuevo	0
Activo	0
Revisado	5
Aprobado	0
Resuelto	0
Tipo	Estático
Estado	Antiguo

	Nombre	ConflictoTipo8
	Distancia*	-0.030m
	Estado*	Revisado
	Punto de conflicto*	47.171m, 8.659m, 220.990m
<b>Elemento 1*</b>		
GUID	940c2848-7603-4767-8803-0405a3fe5f67	
Elemento Nombre*	CAJA DE LLAVE DE PASO [212140]	
Elemento Tipo*	Funda	
<b>Elemento 2*</b>		
GUID	cf6ef00f-facf-41bc-9d70-a6457afa2370	
Elemento Nombre*	Tipos de tubería [204674]	
Elemento Tipo*	Funda	
<p>En los campos de grupo marcados con un asterisco (*), se muestra el valor más significativo del grupo.</p>		

	Nombre	ConflictoTipo9
	Distancia*	-0.063m
	Estado*	Revisado
	Punto de conflicto*	51.258m, 9.353m, 210.437m

19/9/2019

Informe de conflictos

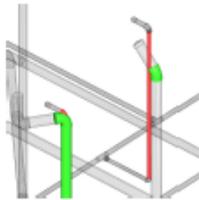
**Elemento 1\***

GUID 96dfc5b2-bf18-4b7f-8fd6-778536693dd5  
 Elemento Nombre\* Tipos de tubería [223244]  
 Elemento Tipo\* Funda

**Elemento 2\***

GUID 5215966a-c11b-4d37-9078-947b907159a4  
 Elemento Nombre\* Muro básico [205879]  
 Elemento Tipo\* Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.

**Elemento 1\***

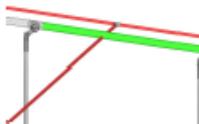
Nombre	ConflictoTipo10
Distancia*	-0.020m
Estado*	Revisado
Punto de conflicto*	26.061m, 23.303m, 229.506m

GUID c282df56-d3fb-4fe7-aab7-79918536d30b  
 Elemento Nombre\* Tipos de tubería [205003]  
 Elemento Tipo\* Funda

**Elemento 2\***

GUID 351cbaad-cb4a-4864-82e8-d130e8a50ed8  
 Elemento Nombre\* Buje Soldado-Sanitaria-PAVCO [204991]  
 Elemento Tipo\* Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.

**Elemento 1\***

Nombre	ConflictoTipo12
Distancia*	-0.008m
Estado*	Revisado
Punto de conflicto*	12.114m, 13.919m, 226.923m

GUID 604c8ce1-4d3e-4936-8725-3dc2d704ee93  
 Elemento Nombre\* Tipos de tubería [214468]

19/9/2019

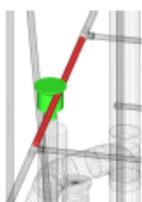
Informe de conflictos

Elemento Tipo\* Funda

**Elemento 2\***

GUID 03850325-5d43-4c33-9ea9-e6d009895210  
 Elemento Nombre\* Tipos de tubería [204464]  
 Elemento Tipo\* Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.



Nombre ConflictoTipo13  
 Distancia\* -0.005m  
 Estado\* Revisado  
 Punto de conflicto\* 47.957m, 8.612m, 223.818m

**Elemento 1\***

GUID 940c2848-7603-4767-8803-0405a3fe5eeb  
 Elemento Nombre\* Tipos de tubería [212256]  
 Elemento Tipo\* Funda

**Elemento 2\***

GUID cf6ef00f-facf-41bc-9d70-a6457afa2362  
 Elemento Nombre\* Floor Drain - Round [204688]  
 Elemento Tipo\* Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.

## Apéndice F. Informe de colisiones entre el sistema sanitario y el arquitectónico.

Fuente: Elaboración propia.

19/9/2019

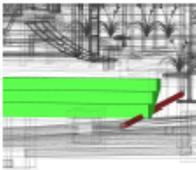
Informe de conflictos

# Informe de conflictos

## Report Lote

SAN VS ARQ Conflicto	
Tolerancia	0.050m
Total	2446
Nuevo	0
Activo	0
Revisado	5
Aprobado	2441
Resuelto	0
Tipo	Estático
Estado	Antiguo

	Nombre	Conflicto938
	Distancia	-0.075m
	Descripción	Estático
	Estado	Revisado
	Punto de conflicto	54.863m, 8.915m, 210.574m
	Fecha de creación	2019/9/4 03:49
	<b>Elemento 1</b>	
GUID	5215966a-c11b-4d37-9078-947b90715c70	
Elemento Nombre	Tipos de tubería [205283]	
Elemento Tipo	Funda	
<b>Elemento 2</b>		
Elemento Nombre	SubPart 1	
Elemento Tipo	Parte compuesta	

	Nombre	Conflicto1121
	Distancia	-0.071m
	Descripción	Estático
	Estado	Revisado
	Punto de conflicto	59.920m, 27.194m, 210.770m
	Fecha de creación	2019/9/4 03:49
	<b>Elemento 1</b>	
GUID	5215966a-c11b-4d37-9078-947b90715fa0	

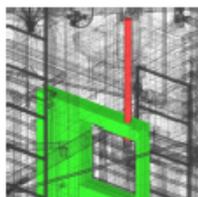
19/9/2019

Informe de conflictos

Elemento Nombre Suelo [205363]  
Elemento Tipo Funda

**Elemento 2**

GUID efcc3f5c-d50c-4117-8242-8f1d5baff10b  
Elemento Nombre Suelo [869558]  
Elemento Tipo Funda



Nombre ConflictoTipo12  
Distancia\* -0.066m  
Estado\* Revisado  
Punto de conflicto\* 33.221m, 22.220m, 226.480m

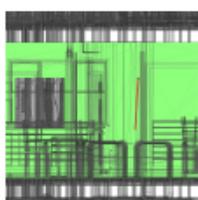
**Elemento 1\***

GUID d1c28fe4-6dd3-4a15-b471-d43bd55f9649  
Elemento Nombre\* Tipos de tubería [204631]  
Elemento Tipo\* Funda

**Elemento 2\***

GUID be365e23-c7f2-48b1-aec7-d8c66be5657a  
Elemento Nombre\* Muro básico [300888]  
Elemento Tipo\* Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.



Nombre Conflicto1862  
Distancia -0.061m  
Descripción Estático  
Estado Revisado  
Punto de conflicto 41.622m, 22.762m, 215.474m  
Fecha de creación 2019/9/4 03:49

**Elemento 1**

GUID 2721a70b-12b7-429e-b355-8fb340cb2b2e  
Elemento Nombre Tipos de tubería [204794]  
Elemento Tipo Funda

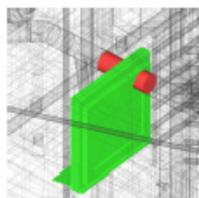
**Elemento 2**

GUID be365e23-c7f2-48b1-aec7-d8c66be56a6b

19/9/2019

Informe de conflictos

Elemento Nombre	Muro básico [301129]
Elemento Tipo	Funda



Nombre	ConflictoTipo13
Distancia*	-0.053m
Estado*	Revisado
Punto de conflicto*	26.846m, 22.333m, 216.924m

**Elemento 1\***

GUID	d1c28fe4-6dd3-4a15-b471-d43bd55f97c4
Elemento Nombre*	Tipos de tubería [204506]
Elemento Tipo*	Funda

**Elemento 2\***

GUID	6647080f-dd86-44be-9b59-f4ae7fd6e9f2
Elemento Nombre*	w1 [296804]
Elemento Tipo*	Funda

En los campos de grupo marcados con un asterisco (\*), se muestra el valor más significativo del grupo.